



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa



PROYECTO DE DISEÑO DE PIEZAS MODELADAS
CON UNA IMPRESORA 3D PARA LA
REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO
DE LA ASIGNATURA DE RESISTENCIA DE
MATERIALES Y TEORÍA DE ESTRUCTURAS

Trabajo de fin de grado en Ingeniería Mecánica



MAYO DE 2018

Autor: Xavier Rodríguez Campillo

Directora: Montserrat Sánchez Romero

Co-Director: Rafael Weiler Pérez

Resumen

Con el transcurso de los años y el avance de la tecnología, la impresión 3D se ha dado a conocer en la sociedad. Cada vez más empresas utilizan este tipo de tecnología para crear prototipos de nuevos productos o para poderlos implementar en ellos mismos.

En este trabajo de fin de grado, se realiza una metodología de práctica de laboratorio de la asignatura de resistencia de materiales y teoría de estructuras. Se estudia el diseño de piezas modeladas con impresora 3D y las características de las mismas a partir del tipo de ensayo impuesto.

Y con esto, finalmente poder llevar a cabo una práctica docente diferente a la estándar para los futuros alumnos de la universidad.

ÍNDICE

1-	Introducció.....	6
1.1-	Justificació	6
1.2-	Objectiu	7
1.3-	Motivació personal	7
1.4-	Estructura y contenido del proyecto.....	8
2-	Estado del arte	9
2.1-	Impresió 3D	9
2.2-	Antecedents	11
2.3-	Tecnología de la impresión 3D.....	12
2.4-	Materiales para la impresión 3D	17
2.5-	Software	22
2.6-	Ventajas e inconvenientes de la impresión 3D	25
2.7-	Aplicaciones	28
2.8-	Futuro de la impresión 3D.....	31
3-	Metodología y guía de la práctica.....	32
3.1-	Variable a estudiar	33
3.3.1-	Patrón, espesor y densidad de relleno	33
3.3.2-	Forma de la probeta	34
3.3.3-	Tamaño de la probeta	34
3.2-	Ensayo a realizar.....	35
3.3-	Impresió de las probetas.....	37
3.3.1-	Características de la impresora 3D	37
3.3.2-	Software utilizado.....	38
3.4-	Tabla de elección de la guía práctica	41
3.5-	Hoja de la guía práctica a realizar	42
4-	Diseño de la práctica.....	46
5-	Ejemplo de ejecución de una práctica de laboratorio (Prueba piloto).....	47
5.1-	Variable a estudiar	48
5.2-	Ensayo a realizar.....	49
5.3-	Impresió de las probetas.....	50
5.4-	Ejecución del ensayo	53
5.5-	Conclusiones de la práctica	58



6-	Conclusiones del proyecto.....	59
7-	Líneas futuras.....	60
8-	Bibliografia	61
9-	Anejos	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Charles Hull registra su patente de un equipo de estereolitografía	11
Figura 2. La primera impresora 3D, la impresora de estereolitografía SLA-1	11
Figura 3. Esquema de los distintos tipos de fabricación de la tecnología AM	12
Figura 4. Representación esquemática de la impresión mediante la tecnología FDM.....	13
Figura 5. Representación esquemática de la impresión mediante la tecnología SLS	14
Figura 6. Representación esquemática de la impresión mediante la tecnología SLA.....	15
Figura 7. Bobinas de PLA	17
Figura 8. Bobinas de ABS.....	18
Figura 9. Bobina de HIPS	18
Figura 10. Material HDPE	19
Figura 11. Material PVA.....	19
Figura 12. Material PET en la industria embotelladora.....	20
Figura 13. Bobinas de NYLON.....	20
Figura 14. Área de impresión Software CURA.....	22
Figura 15. Área de impresión CraftWare	23
Figura 16. Área de impresión Repetier	23
Figura 17. Área de impresión Slic3r	24
Figura 18. Área de impresión OctoPrint.....	24
Figura 19. Estructura interna de una pieza impresa en 3D	25
Figura 20. Pieza impresa en 3D ya ensamblada	26
Figura 21. Fabricación aditiva por sector	28
Figura 22. Vehículo fabricado con una impresora 3D	28
Figura 23. Cubierta para prótesis de miembros superiores.....	29
Figura 24. Compresor fabricado mediante DMLS	29
Figura 25. Impresión 3D para la industria	30
Figura 26. Triángulo estratégico de la impresión 3D	31
Figura 27. Patrones de relleno	33
Figura 28. Espesores de capa	33
Figura 29. Densidades de relleno	34
Figura 30. Ensayo a tracción.....	35
Figura 31. Ensayo de compresión	35
Figura 32. Ensayo de flexión.....	36
Figura 33. Ensayo de torsión	36
Figura 35. Impresora Anet A8 desmontada	37
Figura 34. Estructura impresora Anet A8.....	37
Figura 36. Impresora Anet A8 montada.....	37
Figura 37. Cableado impresora Anet A8	37
Figura 38. Configuración tamaño cama caliente.....	38
Figura 39. Configuración diámetro de la boquilla.....	38
Figura 40. Configuración diámetro del filamento	38
Figura 41. Configuración temperatura de extrusión.....	39
Figura 42. Configuración temperatura de la cama caliente.....	39
Figura 43. Configuración de capas y perímetros.....	39
Figura 44. Configuración de relleno	40
Figura 45. Imagen probeta modelo 1.....	48
Figura 46. Imagen probeta modelo 2.....	48

Figura 47. Imagen probeta modelo 3	48
Figura 48. Diagrama de tracci3n	49
Figura 49. Configuraci3n de capas y per3metros de la pr3ctica	50
Figura 50. Configuraci3n de relleno de la pr3ctica.....	50
Figura 51. Modelo 1 de probeta en Slic3r	51
Figura 52. Modelo 2 de probeta en Slic3r	51
Figura 53. Modelo 1 de probeta en Slic3r	51
Figura 54. Probeta durante el proceso de impresi3n	52
Figura 55. Vista del 3ngulo de relleno y de los per3metros	52
Figura 56. Vista de patr3n de relleno al 50%	52
Figura 57. Resultado de las probetas impresas	52
Figura 58. Zona de la ejecuci3n del ensayo a tracci3n.....	53
Figura 59. Software HoyWin	53
Figura 60. Probetas antes del ensayo	54
Figura 61. Limpieza de mordazas anterior al ensayo	54
Figura 62. Realizaci3n del ensayo a tracci3n.....	55
Figura 63. Rotura de las probetas	55
Figura 64. Visibilidad de las zonas de rotura de las probetas	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fases de construcci3n en impresi3n 3D	10
Tabla 2. Comparativa de tecnolog3as de impresi3n 3D.....	16
Tabla 3. Ventajas e inconvenientes de los materiales para impresi3n 3D.....	21
Tabla 4. Tabla de elecci3n de la gu3a pr3ctica	41
Tabla 5. Comparaci3n de modelos en el ensayo de tracci3n.....	57

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gr3fica 1. Modelo 1.....	56
Gr3fica 2. Modelo 2.....	56
Gr3fica 3. Modelo 3.....	56

1- Introducción

1.1- Justificación

Las prácticas de laboratorio pretenden que los estudiantes universitarios apliquen y complementen los conocimientos adquiridos en su formación académica. Su metodología a la hora de realizarlas variará dependiendo de la asignatura, pero el objetivo seguirá siendo el mismo, enfocar la materia de una manera más visual y haciendo que el alumno interactúe con la misma. Las prácticas más frecuentes que podemos llegar a realizar son las siguientes:

- Prácticas con o sin informe: Basada en una guía de soporte o explicada por el profesor, dando las pautas necesarias para poderla realizar. El alumno en un tiempo determinado deberá entregarla con los resultados y las conclusiones obtenidas.
- Prácticas con docencia a software o maquinaria: Se realiza la práctica con el objetivo de que el estudiante se familiarice con el programa o máquina a estudiar. Normalmente se pide entregar una tarea con dicho programa o realizar algún tipo de pieza con la máquina proporcionada por el centro.
- Prácticas con examen final: Después de hacer cualquiera de las prácticas mencionadas anteriormente, al final se realiza un examen para evaluar los conocimientos adquiridos durante la misma.

La función de esta práctica es que el alumno diseñe su propia probeta con las pautas a seguir que dispondrá. La ventaja que tenemos es que con la impresora 3D podremos fabricar dicha probeta al momento en un tiempo relativamente corto en función de la geometría y los parámetros que se le imponga.

Posteriormente el estudiante analizará estructuralmente las situaciones más desfavorables para su probeta en los ensayos de tracción, compresión, flexión o torsión. De esta manera, se pretende que el alumno tenga una mayor atención y comprensión en los conceptos que queremos que asimile.

La tecnología de impresión 3D aún no está implementada en las universidades. Aparece pocas veces o ninguna. Con esta práctica intentaremos unir el diseño con una impresora 3D y el posterior análisis estructural de la probeta fabricada.

La impresión 3D, es una de las principales tecnologías para el futuro de la fabricación en cualquier campo y este es uno de los mayores motivos para hacer este proyecto. Se pretende que en un futuro se cambie por completo el proceso de fabricación de prototipos y componentes para cualquier sector.

1.2- Objetivo

El objetivo de este proyecto de final de grado es hacer una metodología de práctica para el estudio y diseño del comportamiento de piezas fabricadas con la tecnología de impresión 3D al ser sometidas a diferentes esfuerzos.

La realización de este proyecto servirá para la elaboración de una práctica para el laboratorio de resistencia de materiales y teoría de estructuras.

En la práctica, el principal objetivo será dotar al alumno de capacidad de decisión dándole las herramientas necesarias para que él proceda a diseñar, fabricar su probeta con la impresora 3D y posteriormente analizarla una vez hecho el ensayo.

Se diseñará una guía de soporte para el estudiante para que siga unas pautas determinadas a la hora de diseñar la pieza, realizar el ensayo y estudiar el comportamiento de dicha pieza. Le daremos libertad al estudiante, con lo cual, deberá ir resolviendo y tomando las decisiones que vea convenientes con la guía de ayuda mencionada anteriormente.

Para certificar el grado de validez de la práctica se le proporcionará un ejemplo basado en el estudio de la variable “forma”, es decir, el diseño de diferentes probetas con el fin de posteriormente realizar los ensayos a tracción y sacar las conclusiones y propuestas de mejora.

Como último objetivo, sería mejorar la variable a estudiar del pasado proyecto realizando más de un diseño y poderlos comparar para estudiar sus comportamientos.

1.3- Motivación personal

La principal motivación de este proyecto, es el gran interés que me surge entorno al mundo de la impresión 3D. Esta tecnología de fabricación va a ser extensamente utilizada debido a las grandes ventajas que ofrece respecto a las tecnologías de fabricación convencionales.

La impresión 3D es una tecnología que no está impuesta en el grado y que es muy interesante por las ventajas y el futuro que tiene. Estudiar, diseñar y analizar piezas fabricadas en un tiempo reducido puede resultar muy satisfactorio tanto para el sistema educativo como para el laboral.

Así que, en este aspecto, me interesa mucho poder estudiar esta tecnología y poder aprender todas las partes que conlleva. De hecho, me compré una impresora 3D para uso particular y así poder estudiar cómo funciona y las diferentes formas de fabricación, ya que dependiendo de cómo se sitúe la pieza a la hora de fabricar tendrá diferentes comportamientos.

1.4- Estructura y contenido del proyecto

El proyecto se dividirá en tres partes además de esta introductoria, dónde se han definido la motivación y los objetivos por los cuales llevar a cabo el proyecto:

1. **Estado del arte:** Empezaremos el proyecto analizando la tecnología de impresión 3D, su historia, los materiales para la impresión, los softwares utilizados a día de hoy, las ventajas e inconvenientes de esta tecnología, las aplicaciones y el futuro que tiene.
2. **Metodología y guía de la práctica:** En esta parte del proyecto, se estudiarán las diferentes posibilidades del diseño de la probeta. También se mencionarán los posibles ensayos a realizar y las pautas que seguiremos en la ejecución de la práctica.

En el momento de la realización de la práctica, el estudiante en este punto será donde estudiará el diseño de probeta con un grado de libertad amplio.

3. **Diseño de la estructura de la práctica:** Posteriormente a la metodología, expondremos las diferentes formas de diseño de la práctica.
4. **Ejecución de la estructura y guía de la práctica:** Por último, se iniciará el diseño en el programa requerido para la impresión de las probetas. Se analizarán dichas probetas a partir del ensayo escogido y se sacarán las conclusiones y las propuestas de mejora.

2- Estado del arte

2.1- Impresión 3D

- La impresión 3D (Desktop fabrication o fabricación aditiva como también es conocida) es un proceso donde se crea un objeto real a partir de un diseño 3D. La impresora 3D imprime el diseño capa a capa y reproduce el diseño 3D en su totalidad consiguiendo un objeto real. En vez de tinta, como las conocidas impresoras 2D de papel, las impresoras 3D convencionales utilizan plástico. En la actualidad se empiezan a usar y se siguen en desarrollo otros materiales para llevar a cabo este proceso. El material utilizado es depositado capa tras capa en dirección del eje Z, consiguiendo así el efecto 3D de la impresión.
- Es necesario determinar una serie de parámetros necesarios para definir el proceso de impresión, con el objetivo de generar el G-Code y dividir el modelo en capas. A continuación, se muestra una lista con todos los parámetros a determinar.
 1. **Grosor de capa:** Determina la altura de cada capa en milímetros. La altura de capa estándar es de 0.05mm, que corresponde a 20 capas por milímetro de pieza.
 2. **Tiempo de exposición por capa:** Este valor corresponde al tiempo en que se estará proyectando la luz UV sobre cada capa. El tiempo debe ser suficiente para que la resina solidifique y se adhiera a la capa anterior, pero no debe ser excesivo para que la pieza no sufra un sobredimensionamiento. Este valor depende de la intensidad de la luz, del área proyectada y del tipo de resina.
 3. **Tiempo de exposición para las primeras capas:** Con el objetivo de unir fuertemente las primeras capas a la plataforma de construcción, se emplea un tiempo de exposición mayor, que normalmente es diez veces más grande que para el resto de capas.
 4. **Número de capas expuestas a mayor tiempo:** Se especifica el número exacto de capas iniciales que estarán más tiempo expuestas a la luz del proyector. Suelen ser las capas que forman la base y los soportes de la pieza.
 5. **Duración de una secuencia.** Este valor indica cuánto tardará la plataforma de construcción en, una vez solidificada la capa, elevarse hasta una cierta altura y volver a la posición adecuada para realizar otra capa. Este valor no hay que determinarlo, viene definido por los tres parámetros que se explican a continuación.
 6. **Altura de elevación.** Es la distancia que se elevará la plataforma de construcción después de solidificar cada capa. Este valor es constante, lo que va incrementando después de cada secuencia es la distancia entre plataforma y cubeta, con el objetivo de que la distancia entre la última capa solidificada y dicha cubeta sea el grosor de capa especificado anteriormente.
 7. **Velocidad de elevación.** Esta velocidad indica lo rápido que se eleva la plataforma la altura de elevación especificada en el punto anterior. Velocidades de elevación menores favorecen la separación entre la última capa curada y la película de Teflón.

8. **Velocidad de descenso.** Esta velocidad es la que toma la plataforma, una vez se ha elevado la altura correspondiente, para volver a la nueva posición inicial. Esta velocidad suele ser mayor o igual que la de elevación.
 9. **Dirección de construcción.** *Bottom up* o *Top down*. Este valor indica si la plataforma de construcción va a ir elevándose o descendiendo para crear la pieza. Indirectamente indica la tecnología de impresión que se va a usar, SLA o DLP. Para la LUX habrá que indicar *Bottom up* ya que se basa en la tecnología DLP.
- Una vez determinados estos parámetros, el *CreationWorkshop* ya es capaz de dividir la pieza por capas y generar el G-Code. Además, calcula el tiempo estimado que durará la impresión.
 - Fases de construcción:

Fase	Tipo	Definición
1	Modelo digital	Creación del modelo 3D con un software determinado como por ejemplo un programa de CAD, nosotros utilizaremos el SolidWorks para la creación de los modelos en 3D de las probetas.
2	Exportación	Consiste en la exportación del archivo CAD (modelo geométrico) a otro programa que es el que utilizamos para que la impresora 3D imprima el objeto. Este programa utiliza archivos STL, por lo tanto, lo tendremos que exportar en este formato para que el programa entienda las ordenes correctamente.
3	Mallado	Convierte el modelo 3D en formato STL en una lista de comandos que la impresora sepa interpretar y ejecutar generalmente código g / G-Code. Este trabajo lo realizan software como, por ejemplo: cura, slic3r, repetier.
4	Conexión	Transmisión de la información creada en el software antes mencionado y la impresora. Esta información se puede transmitir mediante un pendrive conectado a la impresora o directamente teniendo el PC conectado a la impresora y ejecutando el archivo directamente.
5	Impresión	Impresión y resultado del modelo. Importante preparar bien la impresora antes de la impresión.

Tabla 1. Fases de construcción en impresión 3D. Fuente: Autor.

2.2- Antecedentes

- Los inicios de la impresión 3D se remontan a 1984, cuando Charles Hull, un inventor destacado en el campo de la óptica iónica, estuvo experimentando con ciertas resinas líquidas que se solidificaban con la exposición a la luz ultravioleta.
- De este modo, Hull se dio cuenta que, con un rayo láser, uno puede solidificar ciertas partes de la resina, formando una película en la que las partes sólidas representan un corte transversal de un objeto tridimensional. Así que, controlando el movimiento del láser mediante una computadora, Hull desarrolló un sistema que dibujaba el objeto capa por capa en una batea de resina líquida, la cual iba bajando poco a poco cuando cada capa estaba solidificada.
- En 1986, el inventor obtuvo la patente de su nuevo proceso, al que llamó estereolitografía y posteriormente fundó la empresa *3DSystems*, que hoy en día está entre las líderes mundiales del mercado de impresoras 3D. A continuación, en la figura 1, se muestra una imagen sacada de la patente de la primera impresora 3D de Charles Hull.

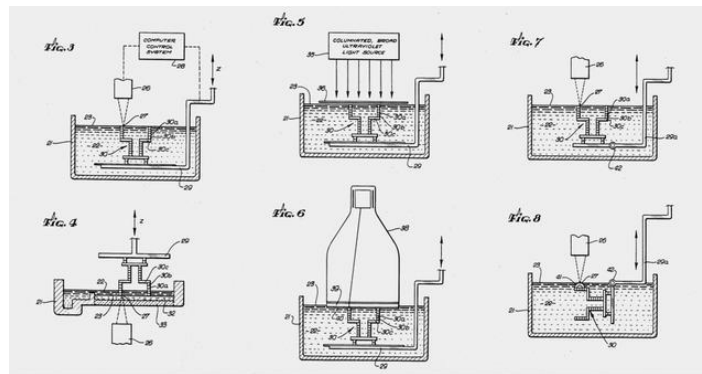


Figura 1. Charles Hull registra su patente de un equipo de estereolitografía. (SLA) [25]

- Posteriormente, entre 1988 y 1990 surgieron dos nuevas tecnologías de impresión, una basada en la deposición capa a capa de material fundido (FDM) y la otra basada en la impresión por láser (SLS), que se detallarán más adelante. Ese mismo año Scott Crum, creador de la tecnología FDM, estableció la *Stratasys*, otra empresa situada en lo más alto en cuanto a impresión en 3D.



Figura 2. La primera impresora 3D, la impresora de estereolitografía SLA-1. [25]

2.3- Tecnología de la impresión 3D

- Como se ha comentado anteriormente, la impresión 3D es una tecnología de fabricación que crea objetos tridimensionales mediante la superposición de capas de material. Es por ello por lo que esta tecnología es formalmente conocida como manufactura aditiva o *Additive Manufacturing (AM)*. Además de las distintas tecnologías existentes para crear una pieza mediante la superposición de capas, es necesario preparar el modelo digital en 3D antes de realizar dicha impresión.
- En este punto se explicarán los diferentes tipos de tecnologías de impresión en la actualidad, detallándose las más relevantes e incluyéndose, por supuesto, la tecnología utilizada en este proyecto.

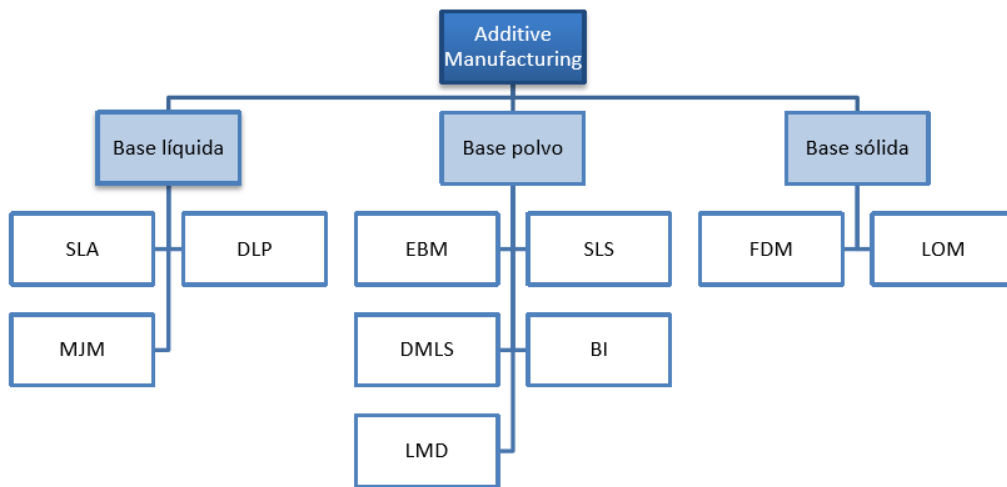


Figura 3. Esquema de los distintos tipos de fabricación de la tecnología AM. [13]

1- Modelado por deposición fundida (FDM)

Esta técnica es considerada a menudo el método existente más sencillo. La tecnología de modelado por deposición fundida o FDM se basa en **3 elementos principales: una placa de impresión en la que se imprime la pieza, una bobina de filamento que sirve como material de impresión y una cabeza de extrusión** también llamada extrusor. En resumen, el filamento es succionado y fundido por el extrusor de la impresora 3D, que deposita el material de forma precisa capa por capa sobre la cama de impresión.

Todo comienza con el diseño del objeto utilizando algún software CAD (como SolidWorks, TinkerCAD o Blender, por ejemplo). El archivo 3D resultante, en su mayoría en formato .STL, se divide en varias capas utilizando un software determinado (como Makerware, Cura o Repetier) en el que es posible seleccionar los distintos parámetros de la impresión. Una vez configurado todo, se puede iniciar la impresión.

La impresión 3D comienza cuando la máquina alcanza una temperatura alrededor de los 200°C, necesaria para la fusión del material. Entre los materiales de impresión 3D más populares en la deposición por fusión se encuentran el PLA (ácido poliláctico) y el ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno).

Una vez que se calienta la máquina, se extruye un filamento de material de 1,75 mm o 2,85 mm de diámetro sobre la plataforma a través de una boquilla que se mueve sobre 3 ejes x, y y z. La plataforma desciende un nivel con cada nueva capa aplicada, hasta que se imprima el objeto.

Durante la impresión, se pueden utilizar soportes para mejorar la calidad de ciertos modelos. Su función es apoyar las partes sobresalientes del modelo 3D, ya que hay ciertos modelos que sin apoyo es muy difícil que consigan ser impresos. Estos soportes pueden estar hechos del mismo material que el objeto impreso o en un material que sea soluble en agua o limoneno, por ejemplo.

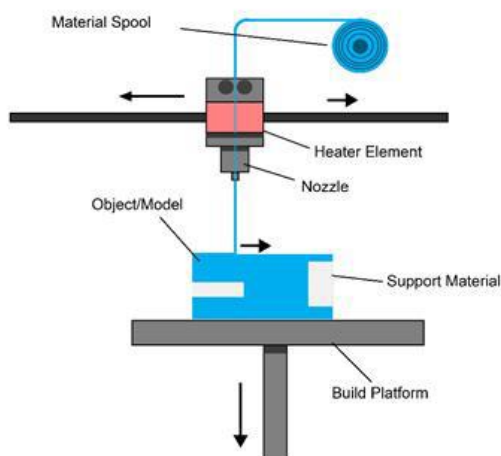


Figura 4. Representación esquemática de la impresión mediante la tecnología FDM. [23]

Este tipo de impresoras dejan un acabado áspero en la superficie ya que no son capaces de realizar capas muy finas debido a que este factor depende del tamaño de la boquilla. Además, se considera una de las tecnologías de impresión más lenta. No obstante, es la tecnología más extendida ya que es limpia, fácil de usar y adecuada para el uso doméstico por su bajo coste.

Materiales y precios compatibles con el modelado por deposición fundida:

La impresión 3D de deposición fundida es compatible con una amplia variedad **de polímeros termoplásticos**: PLA y ABS, y también de **policarbonato** como, PET, PS, ASA, PVA, nylon, ULTEM y muchos filamentos compuestos que estén basados en metal, piedra, madera. Esto ofrece interesantes propiedades mecánicas tales como conductividad, biocompatibilidad, resistencia a temperaturas o condiciones extremas, por mencionar algunos.

Para dar una idea del precio de los consumibles para impresoras 3D, un carrete de 1kg de filamento PLA es de unos 35 €.

En el modelado por deposición fundida, las impresoras 3D tienen **un rango de precio a partir de 300€** para los primeros modelos de impresoras 3D que puedes montar por ti mismo (tipo RepRap), 2.500 € para los modelos de gama media y cerca de 10.000 € para las máquinas de FDM profesionales.

2- Sinterización selectiva por láser (SLS)

La sinterización selectiva por láser se basa principalmente, como su propio nombre indica, en la sinterización de material en polvo mediante un rayo láser. El término sinterización se refiere a un tratamiento térmico que crea enlaces entre las partículas del polvo usando temperaturas inferiores a la temperatura de fusión del material.

El proceso se inicia con la plataforma en la posición superior con una capa de material en polvo que se reparte uniformemente por toda su superficie. Seguidamente, un rayo láser sinteriza la primera capa de la pieza, quedando compactada y adhiriéndose a la plataforma. Posteriormente, la plataforma desciende una distancia igual a la altura de capa deseada y, mediante un rodillo, se vuelve a extender una nueva capa de material en polvo sobre la superficie de dicha plataforma.

De esta forma, el láser vuelve a sinterizar otra capa, que se unirá con la capa anterior. Este proceso se repite sucesivamente hasta completar la pieza.

Una vez acabado el proceso, se retira la pieza del resto de material en polvo, el cual se puede volver a utilizar para otra impresión. Una de las grandes ventajas de esta tecnología es que no necesita de estructuras de soporte ya que el material en polvo que no se va sinterizando durante la impresión, es lo que sostiene la pieza. Además, debido al calor que puede generar un láser y la capacidad de trabajar con material en polvo, la SLS es la tecnología más común para formar piezas con metales y aleaciones.

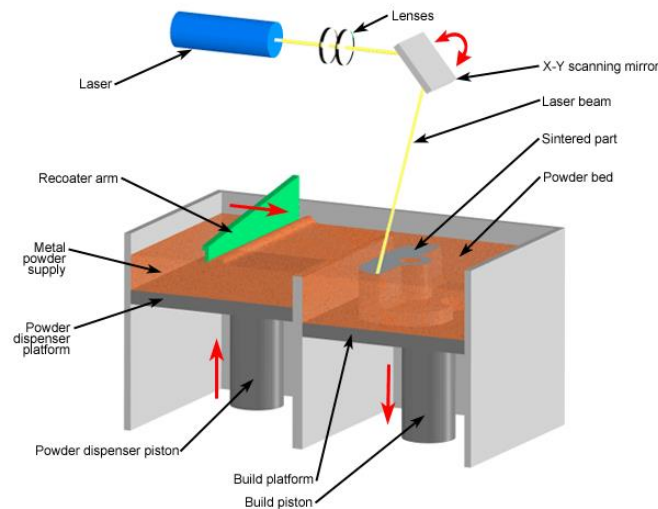


Figura 5. Representación esquemática de la impresión mediante la tecnología SLS. [3]

Esta tecnología permite hacer capas de muy poco espesor y no es considerado un sistema de impresión especialmente lento. Sin embargo, al trabajar a tan altas temperaturas, necesita de un gran tiempo de enfriamiento. Además, las piezas que provienen de la compactación de material en polvo no tienen un buen acabado y para según qué aplicaciones no dispone de unas propiedades mecánicas adecuadas.

3- Estereolitografia (SLA)

El proceso de estereolitografía se basa en la fotopolimerización, es decir, la utilización de resinas líquidas que solidifican cuando son expuestas a una cantidad suficiente de luz UV.

La impresora dispone una cubeta llena de la resina líquida con una plataforma de construcción en su interior. Inicialmente, dicha plataforma se sitúa una distancia de la superficie igual al grosor de la primera capa a solidificar.

A continuación, se procede a la iluminación selectiva mediante un rayo láser dirigido, que solidifica la primera sección transversal de la pieza. Seguidamente, la plataforma de construcción desciende una distancia igual al grosor de capa deseado, sumergiendo la pieza en la resina. Finalmente, el láser vuelve a trazar la sección transversal contigua a la capa anterior. El proceso, el cual se puede ver en la figura 5, se repite sucesivamente hasta obtener la pieza final.

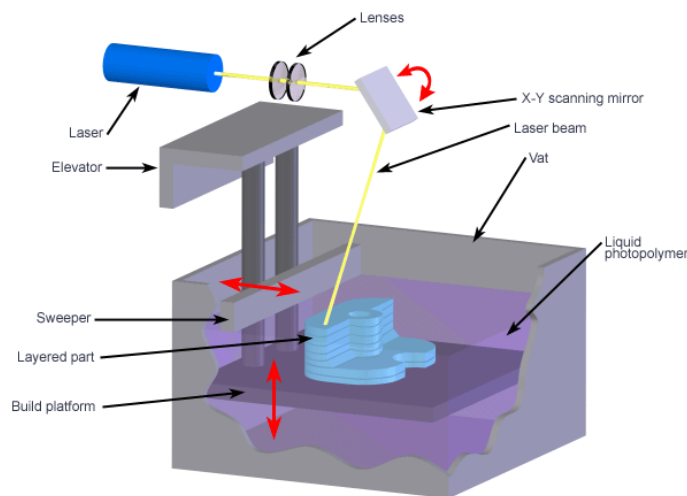


Figura 6. Representación esquemática de la impresión mediante la tecnología SLA. [20]

Para este tipo de impresiones se requiere de estructuras de soporte debido a que está apoyada en resina líquida, y no en material en polvo como pasaba en la SLS. Así que, la resina líquida por sí sola es incapaz de soportar la formación de capas al voladizo. Cabe decir que las estructuras de soporte podrán ser más esbeltas que en el caso de la FDM, ya que la densidad de la resina ofrece algo más de consistencia a los soportes. No obstante, los soportes serán del mismo material que el resto de la pieza y habrá que retirarlos manualmente.

El proceso es terminado con un post-curado en un horno especial de rayos UVA para darle solidez y dureza a la pieza.

La estereolitografía es conocida como uno de los procesos de impresión más precisos, con un excelente acabado ya que permite hacer capas de muy poco espesor. Esto es debido a que la resolución depende del tamaño del punto óptico del láser, que puede ser mucho menor que la boquilla de extrusión en la FDM, por ejemplo. Por contra, no es una impresora especialmente rápida y como se ha comentado anteriormente, es necesario un cuidadoso post-procesado. Además, la altura de las piezas depende de la profundidad de la cubeta, que no suele ser muy profunda ya que esto comportaría la utilización de una gran cantidad de resina líquida para llevar a cabo las piezas.

- Comparativa de tecnologías de impresión 3D:

	FDM	SLS	SLA
Material	ABS, PLA, Nylon	Poliamida (Nylon), Poliestirenos, Poliuretano, Termoplástico (TPU), Metal	Resinas fotosensibles
Calidad	Bajo a medio	Alto	Alto
Grosor de capa	0,5 a 0,127 mm	0,05 a 0,01 mm	0,05 a 0,015 mm
Espesor mín. pared	1 mm	0.8 mm	5 mm
Textura de superficie	Rugoso (efecto "escalera") pero se puede pulir	Un poco rugoso, pero se puede pulir	Suave, a menudo brillante
Colores (sin postproceso)	Opaco y translúcido todos los colores	Blanco opaco, gris y negro	Opaco y translúcido todos los colores
Soporte (diseños complejos)	Necesario	No requerido	Necesario
Mecánicamente	Variable (puede ser fuerte o flexible)	Fuerte y flexible	Fuerte y quebradizo, nuevos compuestos flexibles
Falla mecánica	Deformación gradual hasta la fractura.	Deformación gradual hasta la fractura.	Casi ninguna deformación hasta fractura súbita.
Resistencia a la abrasión	Variable	Superior	Variable
Postproceso	Pulido, pintura, sellado, alisado (con vapor de acetona)	Pulido, embellecedor suavizado, barnizado, teñido, pintura	Pulido (raramente necesario), pintura
Compatibilidad de alimentos	Fuga debido a micro-gaps	Sí	Solo con resinas especiales (puede ser caro)
Compatibilidad de productos químicos	Fuga debido a micro-gaps	Muy resistente (Nylon)	No definida
Costo	Impresoras de bajo costo, materiales de bajo costo	Impresoras muy caras, materiales de bajo costo	Precio medio de la impresora y resinas pueden ser costosas

Tabla 2. Comparativa de tecnologías de impresión 3D. Fuente: Autor.

2.4- Materiales para la impresión 3D

- Todo el desarrollo en la tecnología de impresión 3D fue posible en gran medida al desarrollo en paralelo de nuevos materiales que facilitarían la implementación de esas mejoras en los acabados y en la reducción en el tiempo de impresión. Ambos mercados se han retroalimentando en base a las carencias que se producían con las antiguas máquinas y a causa de ello el sector de la investigación de nuevos materiales sufrió un crecimiento exponencial. Ahora es más común encontrar materiales definidos para las especificaciones requeridas en el diseño.

1- PLA

De entre todos estos materiales dedicados a la impresión de diseños, el más comercializado es el llamado **PLA** (Polilactida). Este polímero es biodegradable, ya que se produce a partir de recursos 100% renovables como el almidón, fue descubierto por el científico Wallace Carothers en 1932.

Este plástico tiene aplicaciones tanto en la industria de impresión 3D como en la textil, médica o el empaquetado. El PLA es un polímero permanente e inodoro. Entre sus características más importantes está su buena resistencia a la humedad, la creación de una barrera del sabor y del olor y su módulo de elasticidad es comparable al polietileno, con 900 N/mm². Debido a su baja densidad 1.25 g/cm³, se puede moldear con diversas características mecánicas dependiendo del proceso de fabricación seguido. Gracias a su baja temperatura de transición vítrea (210°C) necesita una temperatura menor para su extrusión y no requiere de cama caliente para su impresión. El mayor inconveniente que posee el PLA es, que debido a todas las características citadas anteriormente, no es posible mecanizar las piezas impresas.



Figura 7. Bobinas de PLA. [7]

Otro hándicap es su elevado precio de producción. Pero gracias a los avances en la fermentación de la glucosa para obtener ácido láctico el precio de producción ha bajado considerablemente. Su impresión es más sencilla porque no necesita cámara caliente como el ABS que la superficie de contacto tiene que estar a una temperatura muy elevada.

2- ABS

Por otro lado, también existe el llamado **ABS** (Acrilonitrilo butadieno estireno), un plástico muy resistente al impacto utilizado especialmente en la industria de la automoción. El ABS se considera un termoplástico amorfo ya que sometido a altas temperaturas se vuelve flexible; y cuando se enfría sufre un proceso de endurecimiento. Se le llama el *plástico de la ingeniería* porque su elaboración y procesamiento es más complejo que los plásticos comunes y que el PLA.

Este polímero está compuesto por tres bloques por lo que se le llama terpolímero. El **Acrilonitrilo** le aporta rigidez, resistencia a ataques químicos, dureza y estabilidad a altas temperaturas. El **Butadieno** le proporciona tenacidad a baja temperatura y mayor resistencia al impacto; y el **Estireno**, resistencia mecánica, rigidez, brillo y dureza. Esta mezcla de propiedades hace que el producto final sea de gran aplicación en la fabricación aditiva. Este material puede ser extruido, moldeado, solapado y prensado.



Figura 8. Bobinas de ABS. [8]

El ABS es opaco y puede ser de color oscuro o marfil. Puede pigmentarse en la mayoría de los colores obteniéndose un buen acabado y no es tóxico. El ABS también se puede utilizar en aleaciones con otros plásticos, como por ejemplo el PVC, de cuya unión se obtiene un plástico de alta resistencia utilizado en la fabricación de televisores.

En el mundo de la impresión 3D es uno de los materiales más usados junto con el PLA, aunque el ABS está más indicado para exposiciones a temperaturas extremas. Debido a ello el precio del ABS es más elevado que el del PLA. Su temperatura de extrusión es más alta (260°C) por lo que necesita cama caliente y algún elemento de adhesión a la superficie de impresión. Como mejora más significativa respecto al PLA este material si permite el mecanizado de las piezas.

3- HIPS

Dentro de las variedades existentes de poliestireno está el llamado **Poliestireno de alto impacto o HIPS** (high impact Polystyrene). Este material se produce mediante adición y conformado de unidades repetitivas de estireno y butadieno. Este último material es injertado en el poliestireno, formando un polímero que opone resistencia a fuerzas mecánicas. Se caracteriza por la mejora en la resistencia al impacto respecto al poliestireno sin modificar, es opaco gracias a la adición de butadieno y tiene una alta procesabilidad. Se pueden realizar tratamientos de conformado como inyección y extrusión. Este material, al igual que los anteriores, es totalmente reciclable.

Como características diferenciadoras está el hecho de que presenta mayor dureza y flexibilidad que el ABS y permite un uso médico ya que es un material inerte para el cuerpo humano.



Figura 9. Bobina de HIPS. [2]

4- HDPE

Polietileno de alta densidad es un polímero emparentado con el polipropileno, ya que es de la misma familia que los polímeros olefínicos o de los polietilenos. Se usa fundamentalmente para fabricar envases plásticos desechables.



Figura 10. Material HDPE. [16]

El **HDPE** resiste especialmente bien ante los disolventes y pegamentos. No se utiliza demasiado porque tiene tendencia a encogerse y no es reciclable. Su fusión se produce cuando alcanza los 225 grados.

5- PVA

El **Alcohol Polivinilo** es también un **plástico biodegradable** que se gasta, principalmente, en impresoras de cabezas múltiples a modo de estructura para aquellas zonas más frágiles. Opera con temperaturas de fusión que rondan los 180 grados y resulta perfecto para objetos complejos. Por desgracia, se disuelve en agua y es propenso a absorberla.



Figura 11. Material PVA. [28]

Es un plástico especial, usado como estructura de soporte para zonas susceptibles a caer e ideal para objetos con formas complejas o usadas en aplicaciones especiales. Se debe tener cuidado pues tiende a absorber gran humedad, y se debe controlar la humedad del ambiente de impresión.

6- PET

El filamento **PET** es uno de los polímeros más resistentes en la industria. Debido a sus características naturales, funciona bien en las impresoras 3D. Este material es ideal para la fabricación tanto de objetos de decoración, como para objetos de utilización industrial, ya que las propiedades mecánicas de este filamento son similares al ABS o PLA. Por lo tanto, no es un material flexible, sin embargo, no se deforma cuando se enfría.

Este filamento, ha sido aprobado por el FDA (de USA) para la realización de recipientes y utensilios que estarán en contacto con alimentos. Para impresión óptima, la temperatura deberá de encontrarse entre 207°C y 235°C. El PET es un filamento compatible con las bebidas y alimentos líquidos, y tras su empleo puede ser reciclado.



Figura 12. Material PET en la industria embotelladora. [26]

Con especial protagonismo en la **industria embotelladora** y envases similares, su principal virtud es que puede cristalizar y dar lugar a piezas transparentes chulísimas y tremendamente resistentes. Posee una densidad de 1,45 g/cm y actúa con temperaturas de fusión idénticas a las del PLA.

7- NYLON

Desde el año 2013 se puede encontrar en el mercado **Nylon**, un polímero artificial que pertenece al grupo de las poliamidas. Es un polímero termoestable que presenta propiedades específicas que lo aventajan como filamento de impresión 3D sobre los hasta ahora ya conocidos.

Es una buena alternativa a ABS y PLA, aunque más resistente y flexible, natural, resistente al agua y reutilizable. A pesar de sus ventajas tiene una serie de problemas que aún hacen que sea muy complejo de trabajar en impresión 3D, ya que no se adhiere bien a la bandeja. Además, coge humedad fácilmente, y hay que secarlo en el horno tres o cuatro horas antes de imprimir. Por eso los fallos a la hora de trabajar con este material aún son importantes, y se hace complicado controlar las deformaciones de las piezas. Salvando estas cuestiones, como material es altamente resistente, incluso a la temperatura, poco viscoso y con diversas variedades más o menos flexibles y transparentes. Temperatura de impresión entre 235 y 260°C. No es Biodegradable.



Figura 13. Bobinas de NYLON. [12]

Ventajas e inconvenientes de los materiales mencionados anteriormente:

	Ventajas	Inconvenientes
PLA	<ul style="list-style-type: none"> -Facilidad de impresión. -No necesita cama caliente. -Muy estable. -Velocidad de impresión rápida. -Biodegradable. -Material reciclable. 	<ul style="list-style-type: none"> -Poca resistencia térmica. -Poca resistencia mecánica. -Sensible a la humedad.
ABS	<ul style="list-style-type: none"> -Muy estable. -Conserva la tenacidad a temperaturas extremas. -Alta capacidad de mecanizado. -Resistente a ataques químicos. -Muy resistente a los impactos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Experiencia necesaria en impresión 3D. -Contracción entre capas más rápida que el PLA. -Efecto Warping. *
HIPS	<ul style="list-style-type: none"> -Resistencia elevada, incluso a bajas temperaturas. -No necesita cama caliente. -Material reciclable. -Resistente a ácidos y bases. -Alta capacidad de mecanizado. -Inexistencia de Warping y de grietas entre capas. -No desprende gases nocivos. -Resistente al agua. -Buen aislante térmico. -Excelente material de apoyo. 	<ul style="list-style-type: none"> -No se puede utilizar para fabricar piezas destinadas a estar a la intemperie. -Temperatura a la cual empieza a deformarse: 80°C.
HDPE	<ul style="list-style-type: none"> -Resistente a pegamentos y disolventes. -Larga vida útil. -Alta flexibilidad. -Muy buena procesabilidad. -Muy buena resistencia al impacto. -Excelente resistencia térmica y química. -Es muy ligero. 	<ul style="list-style-type: none"> -No es reciclable. -Dificultad de impresión sobre el material. -Suele derivar deformaciones por el enfriamiento brusco y encogimiento del mismo.
PVA	<ul style="list-style-type: none"> -Soluble en agua. -Adhiere bien diferentes tipos de plásticos. -Excelente material de apoyo. 	<ul style="list-style-type: none"> -A temperaturas altas reacciona químicamente y puede causar un atasco en el extrusor.
PET	<ul style="list-style-type: none"> -Alta transparencia. -Buena resistencia química, térmica y a impactos. -Es impermeable. -Alta capacidad de mecanizado. -Resistente a ácidos, bases y grasas. 	<ul style="list-style-type: none"> -Levemente tóxico. -No es biodegradable. -Se vuelve endeble a partir de 70°C aproximadamente.
NYLON	<ul style="list-style-type: none"> -Gran resistencia a la fatiga. -Muy buena resistencia mecánica. -Alta temperatura de deformación. 	<ul style="list-style-type: none"> -Difícil de imprimir. -Contracción al imprimirse muy elevada. -Poca definición de detalles.

Tabla 3. Ventajas e inconvenientes de los materiales para impresión 3D. Fuente: Autor.

***Efecto Warping:** Es muy común que al imprimir piezas que ocupan mucha superficie, las esquinas tiendan a levantarse. Esto es debido a la contracción: el material sale del extrusor a 260 °C, choca con la plataforma que está a unos 60°C, y se enfría, creando una contracción.

2.5- Software

Como todos los procesos de AM, después de la creación de la pieza en un software CAD y su posterior exportación en formato STL, se configuran los parámetros en un software específico para la impresora. Dependiendo del software se tendrá más libertad a la hora de configurar una impresión. En el presente proyecto se ha utilizado una variante de la impresora *Anet A8* comandada por el software *Cura*, el cual permite un amplio abanico de parámetros para modificar.

Con el software definido, podremos elegir las características de nuestra impresión: flujo de trabajo, precisión requerida en la pieza, velocidad de impresión, etc.

A continuación, se explicarán los distintos tipos de software más importantes y los parámetros más relevantes y su efecto durante la impresión.

1- Cura

Cura es el software de corte de referencia para todas las impresoras Ultimaker 3D, pero también se puede usar con muchas otras impresoras 3D, como RepRap, Makerbot, Printbot, Lulzbot y Witbox.

Este software para impresoras 3D es muy fácil de usar y le permite administrar las configuraciones de impresión 3D más importantes en una interfaz clara. Se comienza en el modo “Básico” para una conexión rápida, donde se pueden elegir configuraciones de calidad de impresora reconfiguradas. Cuando se necesita un control más preciso sobre la configuración de calidad de impresión, cambiamos al modo “Experto”.

También puedes utilizar Cura como un programa que actúa como servidor de la impresora 3D para tener un control directo sobre tu aparato, no obstante, la impresora 3D necesita estar conectada al ordenador durante el proceso.

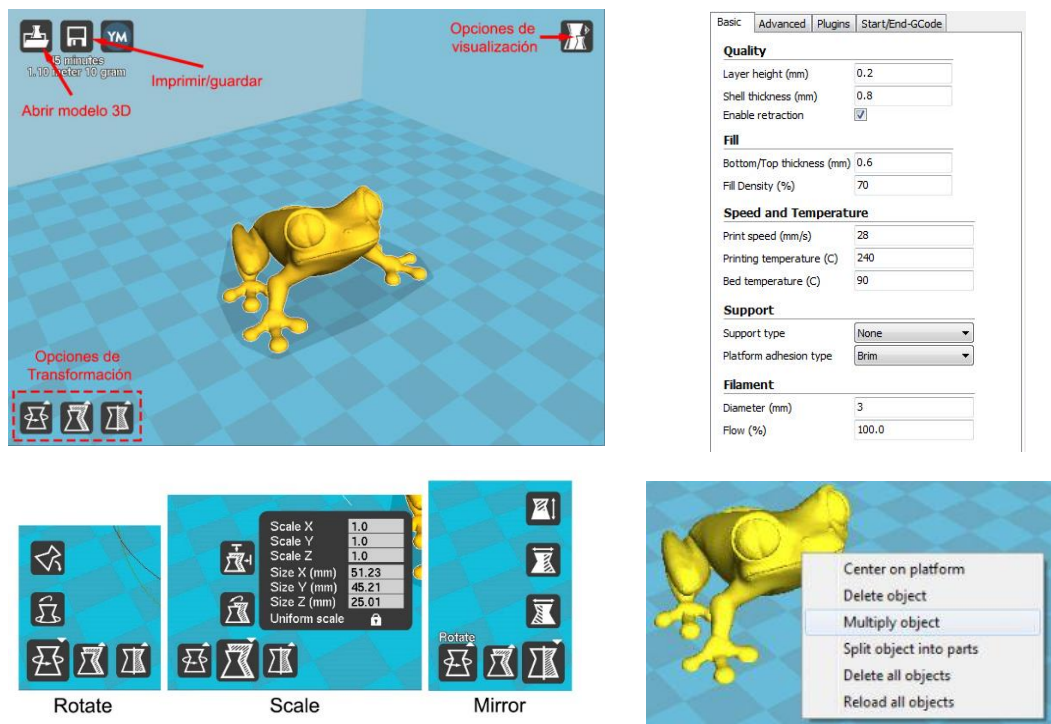


Figura 14. Área de impresión Software CURA. [31]

2- CraftWare

Craftware es otro software para impresoras 3D desarrollado internamente por un fabricante de impresoras 3D para respaldar a su impresora 3D CraftBot financiada a través de crowdfunding. Sin embargo, también lo pueden usar otras impresoras 3D.

Al igual que pasa con Cura, la aplicación CraftWare se puede seleccionar en modo “Básico” y “Experto”, según tu nivel de confianza. Es una aplicación rápida, con una visualización GCode espectacular, donde cada característica aparece en un color diferente. Pero la verdadera característica a destacar es el soporte a la gestión individual.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que este programa de impresiones 3D todavía se encuentra en fase beta, así que pueden aparecer errores durante el uso diario.

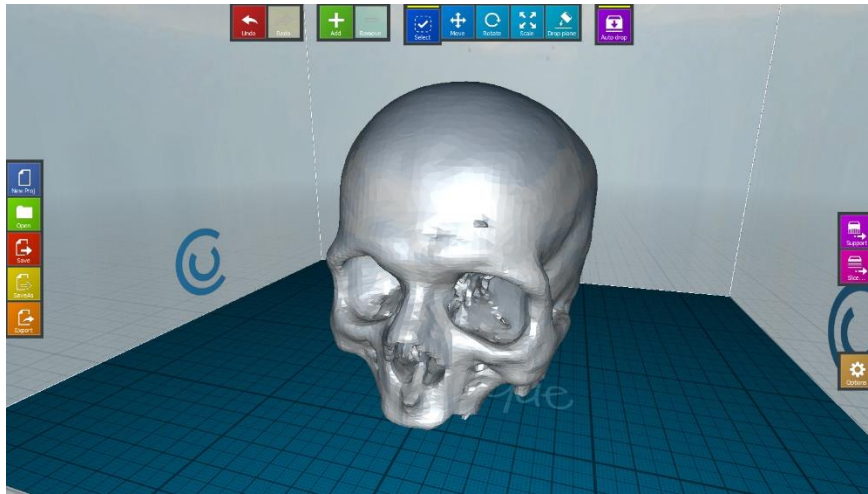


Figura 15. Área de impresión CraftWare. [6]

3- Repetier

Repetier constituye una opción cautivadora. Es el bisabuelo del software para impresoras 3D y la opción preferida de la comunidad de creadores RepRap.

Ahora, lo que hay que tener en cuenta es que este software para impresoras 3D abarca a una comunidad de usuarios entre intermedios y expertos. Orientado como una solución integral, ofrece soporte de multi-extrusión (hasta 16 extrusoras), soporte multi compilador con plugins, y soporte para virtualmente cualquier impresora 3D del mercado que utilice tecnología FDM.

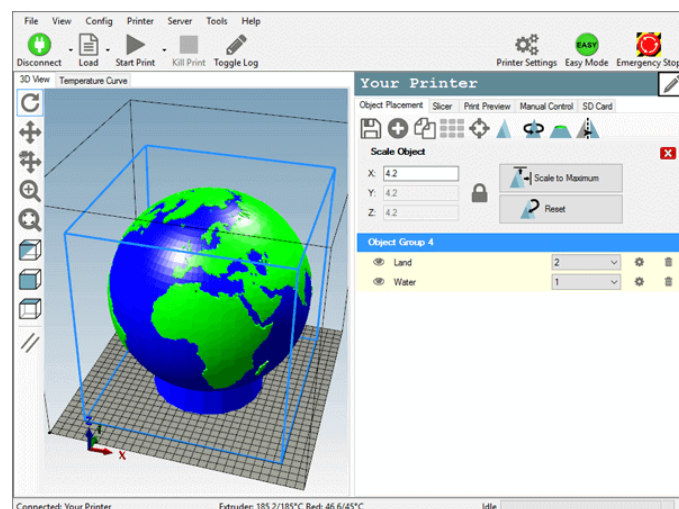


Figura 16. Área de impresión Repetier. [4]

4- Slic3r

Slic3r es un software para impresoras 3D de corte de código abierto conocido por añadir características avanzadas que no se encuentran en ninguna otra parte. La versión actual de este software para impresoras 3D incluye múltiples vistas para que los usuarios puedan visualizar mejor cómo se imprimirán sus modelos.

También ofrece un patrón tridimensional de relleno: es la primera vez que un patrón de relleno puede variar a través de las capas, en lugar de seguir siempre el mismo patrón. Esto puede mejorar enormemente la resistencia del relleno interno y de tu impresión final.

Otra característica es la integración directa con Octoprint. Cuando los archivos se recopilan en el escritorio del usuario, se pueden subir directamente al Octoprint del usuario.

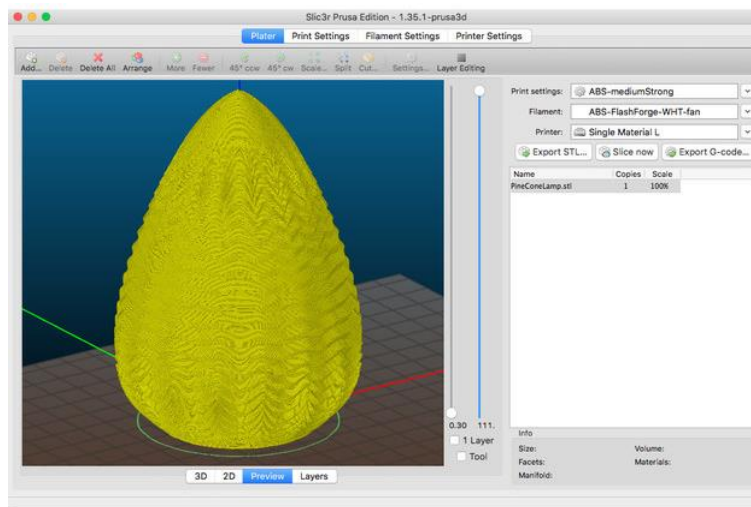


Figura 17. Área de impresión Slic3r. [9]

5- OctoPrint

Octoprint es una verdadera herramienta de control remoto que te permite empezar, pausar o interrumpir procesos de impresión 3D. Este software para impresoras 3D se puede combinar con un dispositivo wifi como la Raspberry Pi, es perfecto para monitorear el proceso de impresión 3D por control remoto a través de internet.

Octoprint acepta G-Code de cualquier herramienta de corte de impresión 3D e incorpora una herramienta de visualización GCode, que te permite ver estos archivos antes y durante la impresión 3D.

Si se desea dejar de utilizar la impresora 3D con el ordenador y se desea controlarla por control remoto, Octoprint es la mejor opción actualmente disponible.

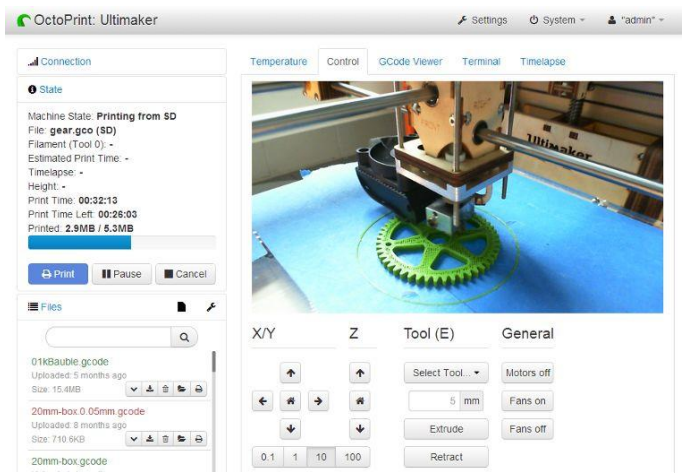


Figura 18. Área de impresión OctoPrint. [4]

2.6- Ventajas e inconvenientes de la impresión 3D

La razón de porqué la impresión 3D tiene tanto potencial, es porque ofrece una serie de ventajas que los otros tipos de tecnología de fabricación les es imposible ofrecer. A continuación, se ha realizado un listado con las ventajas más relevantes que permite la manufactura aditiva.

- **La complejidad de fabricación no eleva el coste.** Mediante la impresión 3D, a diferencia del resto de procesos de fabricación tradicional, para fabricar una forma compleja y ornamentada no hace falta más tiempo, habilidad o coste que para imprimir un simple bloque del mismo tamaño.
- **Control sobre la estructura interna de los objetos.** La fabricación aditiva permite construir la estructura interior de los objetos de una forma mucho más optimizada. Por ejemplo, en lugar de un interior sólido, un objeto puede tener en su interior una grilla fina de material calculada por el software, con el fin de poner precisamente la cantidad de material necesaria para la rigidez deseada. Esta libertad de diseñar el interior de los objetos según su función, permite un ahorro en el uso de insumos.



Figura 19. Estructura interna de una pieza impresa en 3D. [14]

- **La versatilidad de las impresoras 3D. Personalización sin límites.** Una sola impresora 3D es capaz de crear innumerables formas diferentes. En cambio, las máquinas de fabricación tradicional son mucho menos versátiles y el espectro de formas que pueden crear es limitado. Por lo tanto, la impresión 3D evita el sobre coste y el tiempo que conlleva la formación de los operadores en las máquinas tradicionales.

Así que, para crear nuevas formas en una impresora 3D, sólo se necesita un diseño digital diferente y un lote nuevo de materia prima, pero no se requiere ningún cambio en el hardware. Por lo tanto, las impresoras 3D son ideales para la producción que exige un alto grado de personalización, como, por ejemplo, coronas odontológicas o las prótesis auditivas, donde la forma del producto tiene que ser precisamente ajustada para cada usuario.

- **Producción de piezas ya ensambladas.** Al crear los objetos por capas, las impresoras 3D tienen la capacidad de crear las piezas completas, sin necesidad de un posterior ensamblaje. Actualmente, se realizan este tipo de impresiones para piezas de un único material, ya que las impresoras que pueden imprimir con varios materiales a la vez tienen un coste muy elevado. Por lo tanto, cuando esta tecnología se desarrolle, se disminuirá el precio de la fabricación del producto ya que acortaría las cadenas de suministro y ahorraría en mano de obra y transporte.



Figura 20. Pieza impresa en 3D ya ensamblada. [1]

- **Elaboración bajo demanda.** Una impresora 3D tiene la capacidad de imprimir bajo demanda, es decir, siempre que un objeto haga falta. Este hecho tiene un gran potencial ya que permite a las empresas crear objetos especializados (o personalizados) en respuesta a las peticiones de los clientes. Además, esta característica podría disminuir drásticamente los costos de gestión y almacenamiento de inventario, ya que las empresas sólo imprimirán las piezas cuando sean necesarias.
- **El uso de recursos más económico.** Mediante los procesos de fabricación tradicionales normalmente se pierde una gran cantidad de material. Por ejemplo, se estima que en los tornos y fresadoras se desperdicia un 90 por ciento del metal original. En cambio, mediante la manufactura aditiva solo se usa el material que se necesite, por lo tanto, esto implica un descenso de los costos de los insumos y, más importante aún, lleva a una economía más sustentable ya que se generarían menos residuos.
- **Transporte digital.** Al igual que hoy en día puedes enviar archivos de música de una parte del mundo a otra sin coste alguno, también implica que se pueda enviar diseños digitales de todo tipo de objetos. Por lo tanto, teniendo empresas que puedan imprimir dichos objetos cerca de tu localidad, permitiría un ahorro importantísimo en transporte y tiempo. Otro ejemplo sería tener en una empresa de mantenimiento una impresora 3D que te permitiera imprimir in situ el recambio que te hiciera falta en ese momento.

Como se puede apreciar, la manufactura aditiva puede ofrecer muchas ventajas respecto a la manufactura tradicional. Pero este tipo de tecnología aún está en pleno desarrollo y aún tiene que mejorar en muchos aspectos para que todas las ventajas citadas anteriormente sean una realidad.

Por otra parte, las impresoras 3D son todavía máquinas potencialmente peligrosas y que provocan desperdicios y su impacto social, político, económico y ambiental aún no se han estudiado ampliamente.

- **Las impresoras 3D consumen mucha energía.** Cuando derriten plástico con calor o láser, las impresoras 3D consumen alrededor de 50 a 100 veces más energía eléctrica que el tradicional moldeo por inyección empleado para hacer un artículo del mismo peso.
- **Contaminan.** Mientras calientan el plástico e imprimen pequeñas figuras, las máquinas utilizan filamentos PLA que emiten 20 mil millones de partículas ultrafinas por minuto y filamentos ABS que emiten hasta 200 mil millones de partículas por minuto. Estas partículas pueden depositarse en los pulmones o el torrente sanguíneo y plantean riesgos para la salud
- **Dependen de los plásticos.** Las impresoras 3D usan dos tipos de plásticos: el PLA es biodegradable, pero la mayoría utiliza filamentos ABS, que contaminan. Todos los restos de plástico producidos por la impresión van a parar a la basura.
- **Problemas de derechos.** La impresión 3D abre la puerta al mercado negro de productos ilegales. Esta potencial situación de piratería digital es comparable a la forma en que internet desafió los derechos de autor de las industrias del cine y la música, las marcas comerciales y las descargas ilegales.
- **Riesgos de seguridad nacional.** La falta de regulación respecto a las impresoras 3D abre vacíos legales que podrían comprometer la seguridad de los países y provocar hechos de violencia.
- **Seguridad de los objetos que toman contacto con comestibles.** Se puede imprimir un tenedor o una cuchara en 3D, pero si se utiliza plástico ABS, este material no está libre de BPA (bisfenol-A), una sustancia prohibida en varios países.

Por mucho tiempo, las tecnologías de impresión 3D se usaron principalmente para el proceso de prototipado rápido, porque los materiales con los cuales se podía imprimir y la calidad de impresión no eran del mismo nivel que los procesos de producción más tradicionales. Tal vez la limitación más importante en términos de los materiales era que no se podía imprimir con metales, pero en los últimos años esto empezó a cambiar. Recientemente surgieron tecnologías de impresión a partir de titanio, cerámica, aluminio y vidrio, y la resolución de impresión también va mejorando rápido.

Otra debilidad importante es que el proceso de impresión 3D lleva mucho más tiempo en comparación con el proceso de producción tradicional a base de moldes. Esta desventaja todavía no permite el uso de la impresión 3D en la producción masiva.

2.7- Aplicaciones

Existen numerosos sectores donde se ha experimentado y se está empezando a examinar las ventajas que aportan las tecnologías aditivas frente a las convencionales. En la siguiente figura se muestra la incidencia de la fabricación aditiva por sectores.

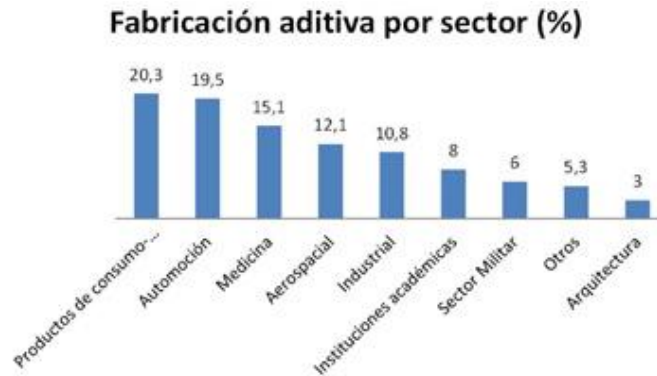


Figura 21. Fabricación aditiva por sector. [19]

A continuación, se detallan las aplicaciones de la fabricación aditiva en cada sector:

- **Productos de consumo:** Este sector utiliza la fabricación aditiva para obtener prototipos y modelos de multitud de artículos para el hogar, equipos deportivos, juguetes, etc. Es el principal demandante de tecnologías de fabricación aditiva que permitan la fabricación digital directa de componentes finales con una alta complejidad geométrica y con necesidades de personalización.
- **Sector de la automoción:** En el sector de la automoción se pueden encontrar revolucionarios ejemplos de automóviles fabricados recientemente con la tecnología de impresión 3D. *Strati de Local Motors*, ha sido el primer vehículo impreso en 3D y con total funcionalidad. Fabricado a partir de plástico en poco más de 46 horas y con un motor eléctrico con una autonomía de unos 200 kilómetros, su lanzamiento en octubre de 2014 ha supuesto todo un hito para la industria de la automoción.



Figura 22. Vehículo fabricado con una impresora 3D. [22]

- **Sector mèdic:** Este sector necessita peces únics de gran complejitat geomètrica que puguin adaptar-se al cos humà. Els productes més sol·licitats són els biomodels (reproducció de parts del cos), implants artificials personalitzats, que poden ser de oïdo, dentals (corones i ponts), utillatges i eines d'ajuda i scaffolds (estructures poroses que permeten el creixement de teixits artificials). En la següent figura se mostra una coberta per a pròtesis de membres superiors, realitzada per impressió 3D en poliamida, per la firma Sevillana UNYQ.



Figura 23. Coberta per a pròtesis de membres superiors. [15]

- **Sector aeroespacial:** Reduir els costos ambientals en la fabricació de les peces dels motors d'aviació, incrementar la llibertat de disseny i disminuir el consum de combustibles i les emissions de gasos contaminants són alguns dels beneficis derivats de l'aplicació de les modernes tècniques de fabricació additiva en la indústria aeronàutica. Els mètodes tradicionals que s'empelen en la fabricació de peces per als motors aeronàutics impliquen l'ús de tècniques de sustracció de material, que generen chatarra en quantitats molt significatives i directament proporcionals a la complexitat de la geometria elaborada.

Per ello, l'objectiu dels investigadors és demostrar que tècniques de fabricació additiva com la fusió selectiva per làser (SLM) i la deposició de metal·lell mediante làser (LMD) poden ser aplicades a la fabricació de parts de motor i contribuir així a reduir l'impacte mediambiental del transport aeri. En la següent figura se mostra un compresor fabricat mediante la tecnologia additiva DMLS.



Figura 24. Compresor fabricat mediante DMLS. [27]

- **Arquitectura:** La fabricación de maquetas y prototipos en el ámbito de la arquitectura y la construcción ha tenido, y tiene todavía, una componente artesanal muy importante. El desarrollo de los sistemas de diseño asistido, con su consiguiente evolución hacia los sistemas de modelado sólido y los actuales sistemas BIM en edificación, ha permitido obtener maquetas digitales, infografías y animaciones virtuales de los proyectos con una calidad muy atractiva.

Sin embargo, todavía no se puede decir lo mismo respecto de las maquetas físicas, obtenidas a partir de ese modelo digital del proyecto a través de máquinas de construcción aditiva de maquetas y prototipos. La impresión 3D puede convertirse en el complemento imprescindible de estudios de arquitectos y diseñadores.

- **Otros sectores:** La fabricación aditiva se utiliza en muchos otros sectores de actividad además de los mencionados anteriormente. De hecho, es una tecnología que altera toda nuestra sociedad porque facilita la creación y la personalización, logrando satisfacer necesidades específicas. Permite superar ciertos obstáculos, ciertas complejidades. La exploración espacial es un ejemplo perfecto de esto: la fabricación aditiva ofrece más posibilidades de descubrir la riqueza del espacio creando nuevos satélites o estaciones en la luna.

La impresión también ofrece soluciones más eficientes en robótica permitiendo la fabricación rápida de robots que son más eficientes y realistas, ya sea por makers o profesionales. A medida que la impresión 3D se vuelve cada vez más democrática y más accesible, trata de instalarse en las casas o incluso en los terrenos deportivos, incluso nuestras mascotas pueden llegar a disfrutar de la nuevas tecnologías! La fabricación aditiva tiene muchas otras sorpresas en varios campos y acelerará la innovación en todo el mundo.

Las empresas que cuentan con un taller y con maquinaria pueden sufrir un contratiempo cuando les falta una pieza o se les estropea una máquina. Los recambios pueden tardar días o, incluso, semanas y hacer que la actividad laboral de la empresa se vea afectada de forma negativa. La solución a estos problemas puede residir en la impresión 3D.

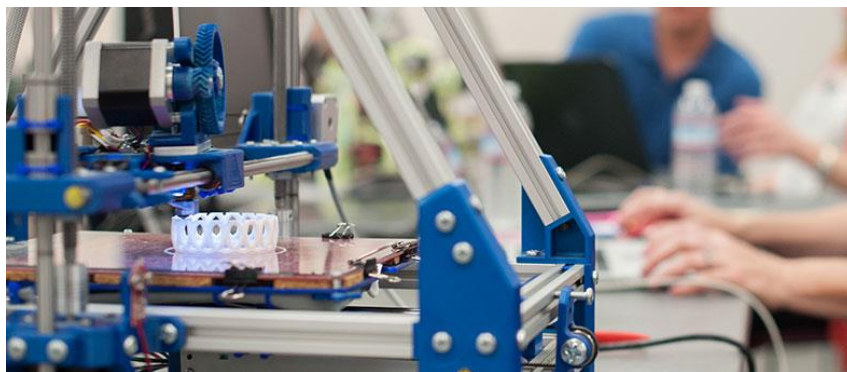


Figura 25. Impresión 3D para la industria. [32]

2.8- Futuro de la impresión 3D

La impresión en 3D consiste en la convergencia entre hardware, software y materiales. Precisamente el rápido desarrollo del software y los materiales en esta última década es lo que ha permitido que la impresión en 3D sea una tecnología cada vez más eficiente y económica.

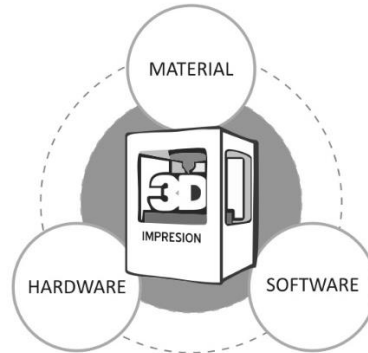


Figura 26. Triángulo estratégico de la impresión 3D. [30]

En un futuro no muy lejano, este tipo de manufactura estará mundialmente extendida ya que nuestros ordenadores están adquiriendo la habilidad de crear productos directamente de archivos digitales, de la misma manera que imprimimos en papel. Estamos entrando en una nueva época, en la cual la línea que separa el mundo digital del mundo físico se volverá cada vez más borrosa. Así, que se podría decir que la impresión 3D va a cambiar el mundo de la fabricación tal como la conocemos.

3- Metodología y guía de la práctica

La metodología de esta práctica está compuesta por las siguientes pautas:

- Variable a estudiar
 - Patrón, espesor y densidad
 - Forma de la probeta
 - Tamaño de la probeta

- Ensayo a realizar
 - Ensayo de tracción
 - Ensayo de compresión
 - Ensayo de flexión
 - Ensayo de torsión

- Impresión de las probetas
 - Impresora 3D
 - Material
 - Parámetros de impresión

- Ejecución del ensayo

- Conclusiones y propuestas de mejora

3.1- Variable a estudiar

La primera fase será el diseño de la variable a estudiar. Con ello realizaremos un patrón de relleno, diferentes espesores y densidades, y diferentes formas y tamaños de probeta.

3.3.1- Patrón, espesor y densidad de relleno

- **Patrón de relleno:** Un punto importante a la hora de realizar una impresión 3D, es escoger el relleno de la pieza ideal.

Esto marcará su solidez, de forma que hará que la pieza sea más o menos resistente según el patrón de relleno seleccionado o si se incluyen capas solidas dentro de la pieza.

Se puede intuir que un patrón más complejo requerirá más movimientos, y por lo tanto tomará más tiempo y material.

- Rectilíneo (35057mm / 5m 23s).
- Concéntrico (35180mm / 5m 30s)
- Lineal (34451mm / 5m 20s)
- Panel de abeja (36273mm / 5m 39s)
- Patrón curva de Hilbert (33282mm / 5m 28s)
- Patrón de Arquímedes (33366mm / 5m 27s)
- Patrón Octagram Spiral (31863mm / 5m 15s)

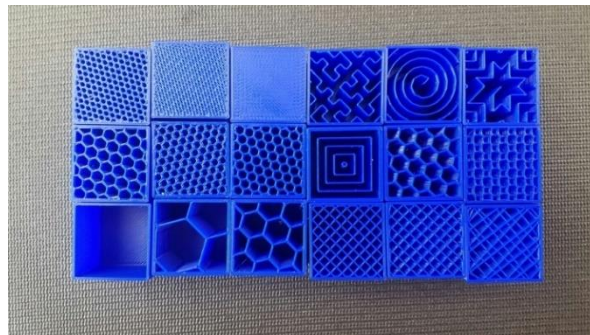


Figura 27. Patrones de relleno. [10]

- **Espesor de capa:**

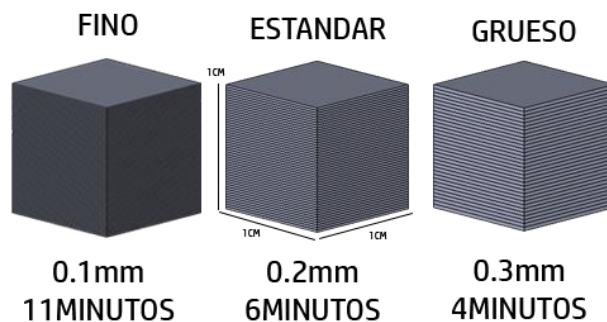


Figura 28. Espesores de capa. [17]

- **Densidad de relleno:** Una de las dudas más frecuentes, en los primeros trabajos de impresión 3D, es el hecho de determinar el porcentaje de relleno que requiere la pieza que queremos fabricar. Lógicamente, cuando más porcentaje de relleno, la pieza será más sólida, aumentando su rigidez mecánica, pero esto no se comporta de forma lineal.

Utilizando estructuras o patrones de relleno adecuados, como por ejemplo el panel de abeja, las densidades de relleno por encima de un 20% ya no mejoran la rigidez mecánica de la pieza y por tanto lo único que haremos será malgastar tiempo y material (el tiempo es dinero, pero además aumenta la probabilidad de otro tipo de errores no previstos, pudiendo llegar a estropearse un trabajo que ha tardado una gran cantidad de horas).

Podrá haber densidades de relleno de 10 a 100%.



Figura 29. Densidades de relleno. [10]

3.3.2- Forma de la probeta

La forma de la probeta irá marcada según el ensayo a realizar.

- Ensayo de compresión: Generalmente son de forma cilíndrica.
- Ensayo de flexión: Sección transversal circular o rectangular.
- Ensayo de tracción: Sección transversal circular o rectangular.
- Ensayo de torsión: Generalmente son de forma cilíndrica.

3.3.3- Tamaño de la probeta

- El tamaño de la probeta lo limitará el volumen que pueda fabricar la impresora 3D.

3.2- Ensayo a realizar

- **Ensayo a tracci3n:** El ensayo de tracci3n es probablemente el tipo de ensayo m1s fundamental de todas las pruebas mec1nicas que se puede realizar en un material. Los ensayos de tracci3n son simples, relativamente baratos, y totalmente estandarizados (normalizados).

En este ensayo se somete al material a una fuerza de tracci3n, es decir, se le aplica una fuerza o varias fuerzas externas que van a tratar de estirar el material. De hecho, durante el ensayo lo estiraremos haciendo cada vez m1s fuerza sobre 3l hasta llegar a su rotura.

Es un ensayo Esfuerzo-Deformaci3n.

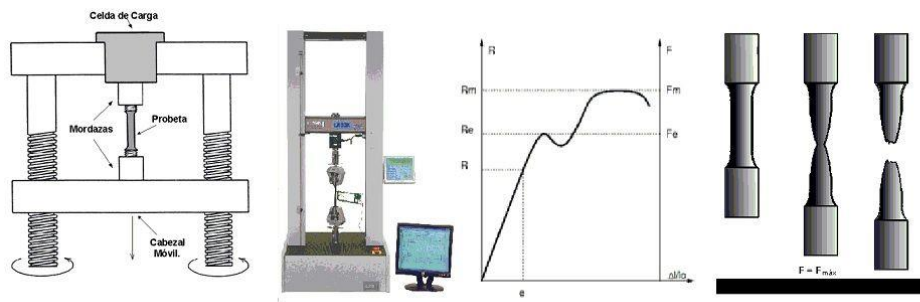


Figura 30. Ensayo a tracci3n. [5]

- **Ensayo de compresi3n:** El ensayo de compresi3n se realiza para determinar las propiedades de un material frente a una sollicitaci3n axial negativa. Sollicitaci3n que pretende comprimir la probeta de ensayo.

El fin del ensayo de compresi3n puede ser determinar las propiedades de un material o el comportamiento de un componente o sistema completo frente a una sollicitaci3n externa.



Figura 31. Ensayo de compresi3n. [18]

- **Ensayo de flexión:** Un ensayo de flexión nos sirve para evaluar el comportamiento esfuerzo-deformación y la resistencia a la flexión de un material. Estos ensayos se llevan a cabo cuando el material es demasiado frágil para ser ensayado por deformación. Se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es preponderante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, por flexión.



Figura 32. Ensayo de flexión. [29]

- **Ensayo de torsión:** Método para determinar el comportamiento de materiales sometidos a cargas de giro. Los datos del ensayo de torsión se usan para construir un diagrama carga-deformación y para determinar el límite elástico del módulo elástico de torsión, el módulo de rotura en torsión y la resistencia a la torsión. Las propiedades de cizalladura suelen determinarse en un ensayo de torsión.

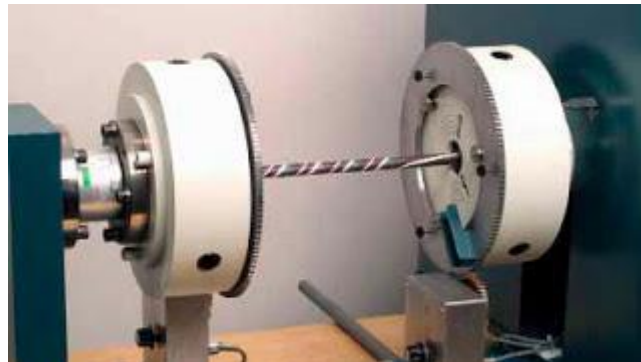


Figura 33. Ensayo de torsión. [11]

3.3- Impresión de las probetas

3.3.1- Características de la impresora 3D

La impresora utilizada para la construcción de las probetas en este proyecto, es una impresora de uso doméstico que compré para aprender a usar esta tecnología. Es una Anet A8, una impresora de bajo coste. Actualmente su valor es de unos 140 euros aproximadamente en España, lo que la hace accesible para las personas que les interese experimentar la fabricación digital sin realizar mayores inversiones.



Figura 35. Impresora Anet A8 desmontada. Fuente: Autor.



Figura 34. Estructura impresora Anet A8. Fuente: Autor.

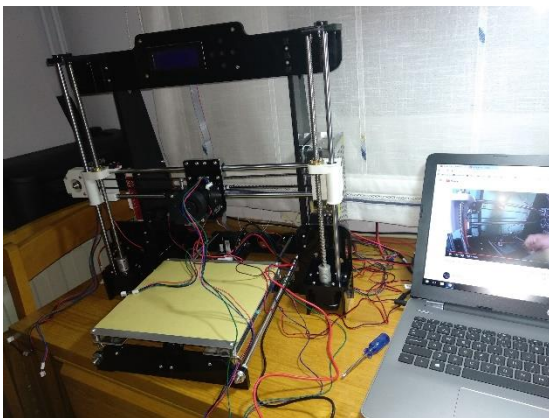


Figura 37. Cableado impresora Anet A8. Fuente: Autor.

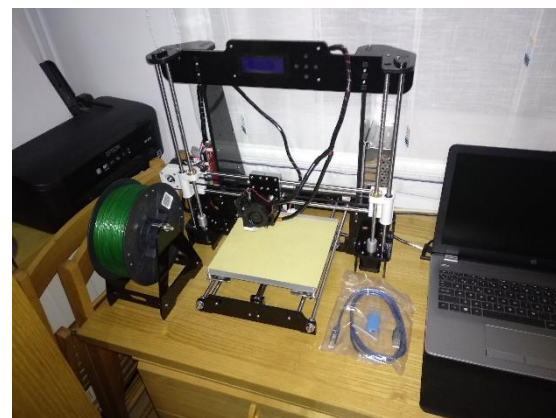


Figura 36. Impresora Anet A8 montada. Fuente: Autor.

- La impresora Anet A8 es una impresora que te llega desmontada. A partir de varios tutoriales colgados en internet, su montaje se hace más sencillo y entretenido.
- En cuanto a los aspectos técnicos su consumo ronda los 60-100W y su velocidad de impresión es de 10 cm/s. Lleva incorporada un puerto para tarjetas SD, por lo que no es necesario un PC para que empiece a imprimir. La Anet A8 no lleva autonivelado, sino que debemos hacer el ajuste manualmente.
- La cama donde realizamos la impresión es caliente. La base de impresión es de **220 x 220 x 240mm**. Imprime prácticamente con cualquier filamento (ABS/PLA/TPU/PETG...).

3.3.2- Software utilizado

Usaremos el software Slic3r para la realización de la práctica. Para ello configuraremos el programa en función de nuestra impresora y el material que utilizaremos.

- Asistente de configuración:

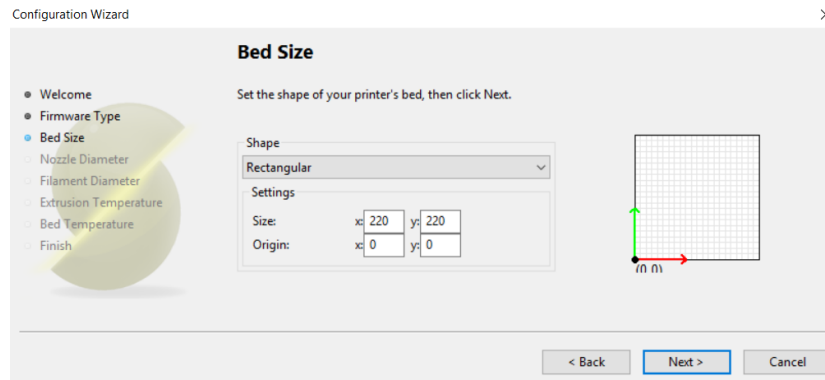


Figura 38. Configuración tamaño cama caliente. Fuente: Autor.

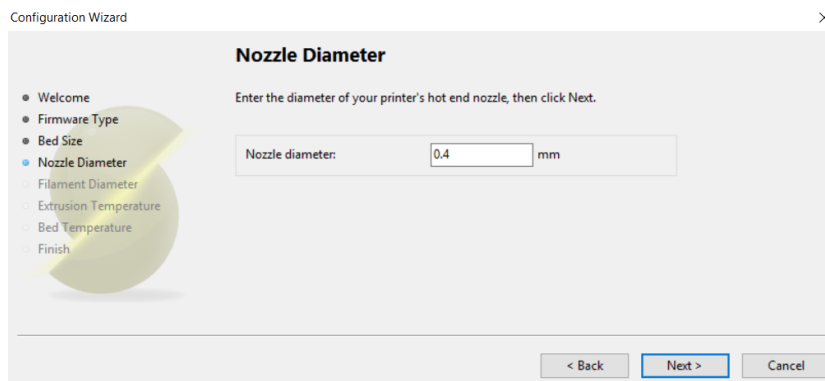


Figura 39. Configuración diámetro de la boquilla. Fuente: Autor.

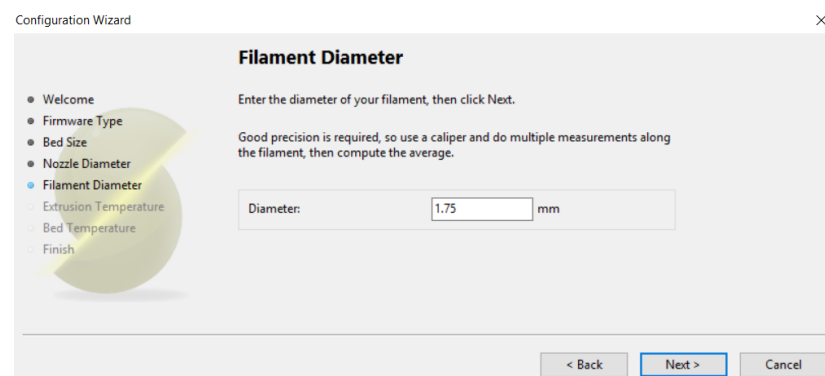


Figura 40. Configuración diámetro del filamento. Fuente: Autor.

Configuration Wizard

Extrusion Temperature

Enter the temperature needed for extruding your filament, then click Next.

A rule of thumb is 160 to 230 °C for PLA, and 215 to 250 °C for ABS.

Temperature:

< Back Next > Cancel

Figura 41. Configuración temperatura de extrusión. Fuente: Autor.

Configuration Wizard

Bed Temperature

Enter the bed temperature needed for getting your filament to stick to your heated bed, then click Next.

A rule of thumb is 60 °C for PLA and 110 °C for ABS. Leave zero if you have no heated bed.

Bed temperature:

< Back Next > Cancel

Figura 42. Configuración temperatura de la cama caliente. Fuente: Autor.

- Ajustes de impresión:

Slic3r

File Plater Object Window Help

Plater Print Settings Filament Settings Printer Settings

My Settings

Layers and perimeters

Layer height

Layer height: mm

First layer height: mm or %

Vertical shells

Perimeters: (minimum)

Spiral vase: ☐

Horizontal shells

Solid layers: Top: Bottom:

Quality (slower slicing)

Extra perimeters if needed: ☒

Avoid crossing perimeters: ☐

Detect thin walls: ☒

Detect bridging perimeters: ☒

Advanced

Seam position:

External perimeters first: ☐

Figura 43. Configuración de capas y perímetros. Fuente: Autor.

Layer height: Es el espesor de cada capa, y el paso que, a lo largo del eje vertical se tomará antes de la extrusión de la nueva capa encima de la anterior. Cuanto menor sea la capa, más suave será la impresión, pero más tiempo tardará en imprimirse. Hablamos de este espesor de capa en el apartado 3.3.1.

Perímetros: Número mínimo de paredes que tendrá una impresión. Por lo general se recomienda contar un mínimo de dos perímetros, ya que, si una parte del perímetro no se imprime correctamente, entonces el segundo perímetro ayudará a cubrirlo.

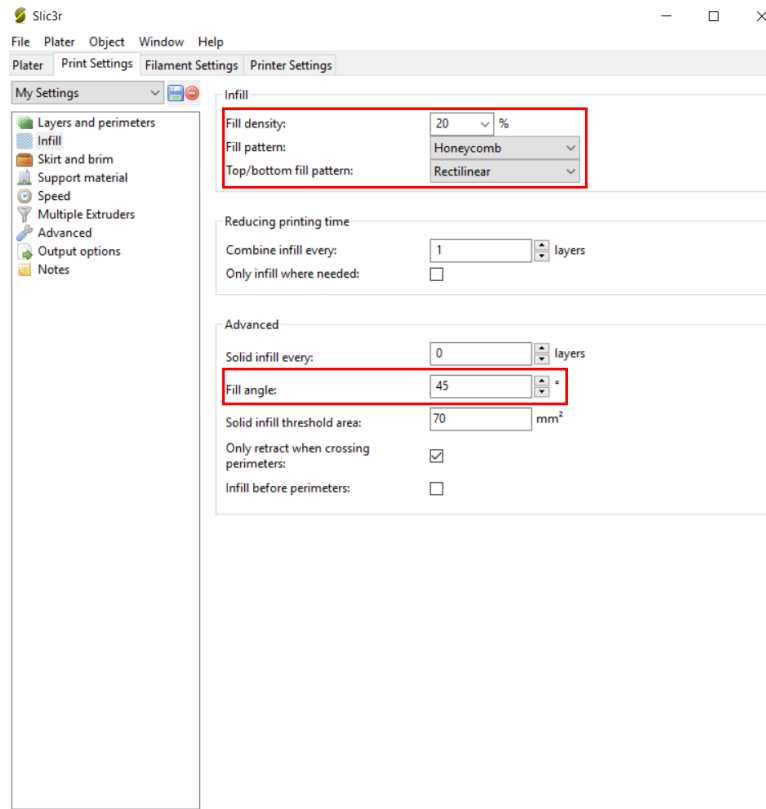


Figura 44. Configuración de relleno. Fuente: Autor.

En esta ventana podremos modificar la densidad y el patrón de relleno. Indicaremos el patrón de relleno de la pieza, de la parte superior, de la inferior y el ángulo de relleno.

3.4- Tabla de elección de la guía práctica

A partir de la siguiente tabla, el alumno o el profesorado deberá elegir qué práctica realizará.

Nº práctica	Variable a modificar							Ensayo	Nº probetas
1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Tracción Compresión Flexión Torsión	3
2	E1		E2		E3				
3	D1	D2	D3	D4	D5	D6			
4	F1			F2					
5	T1		T2		T3				

Tabla 4. Tabla de elección de la guía práctica. Fuente: Autor.

Variables				
Patrón	Espesor	Densidad	Forma	Tamaño
P1: Lineal P2: Rectilíneo P3: Concéntrico P4: Honeycomb P5: Curva de Hilbert P6: Arquímedes P7: Octagram Spiral	E1: Fino E2: Estándar E3: Grueso	D1: 10% D2: 30% D3: 50% D4: 70% D5: 90% D6: 100%	F1: Rectangular F2: Circular	T1: 100mm de largo T2: 120mm de largo T3: 150mm de largo

Ejemplo 1: Práctica 1.

Nº práctica	Variable a modificar							Ensayo	Nº probetas
1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Tracción	3
2	E1		E2			E3			
3	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Flexión		
4	F1			F2				Torsión	
5	T1		T2			T3			

Se estudia la variable 'patrón': Cada probeta tendrá un patrón diferente (P2, P4 y P5) y el mismo espesor, densidad, forma y tamaño. El ensayo que se analizará será el de flexión.

3.5- Hoja de la guía práctica a realizar

En este apartado mostraremos el prototipo de práctica a elaborar por el alumno. En ella el alumno tendrá que completarla en función de la práctica escogida. Se le proporcionará en cada apartado los pasos a seguir como guía de soporte.

Práctica de laboratorio de resistencia de materiales y teoría de estructuras

Diseño y estudio del comportamiento de piezas modeladas con impresora 3D

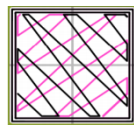
El objetivo de esta práctica es analizar en qué manera afecta la variable que queremos estudiar (patrón, espesor, densidad, forma o tamaño) de una pieza determinada al ser sometida a diferentes esfuerzos.

Esta práctica estará dividida en cuatro partes:

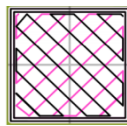
- Diseño de las probetas en SolidWorks (guardar archivo en **.STL**).
- Impresión de las probetas con el software Slic3r (abrir archivo **.STL** en este programa).
- Ensayo a realizar.
- Conclusiones y propuestas de mejora.

Posibles variables a estudiar

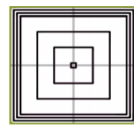
1. Patrón: Es la forma en cómo se rellenará la pieza. Esto marcará su solidez, de forma que hará que la pieza sea más o menos resistente según el patrón de relleno seleccionado.



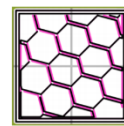
Lineal **P1**



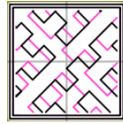
Rectilíneo **P2**



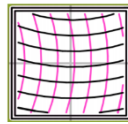
Concéntrico **P3**



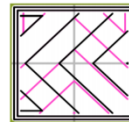
Honeycomb **P4**



Curva de Hilbert **P5**

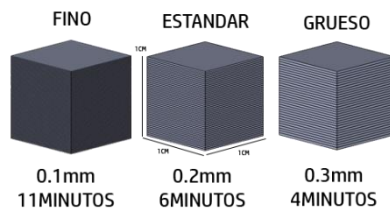


Arquímedes **P6**



Octagram Spiral **P7**

2. Espesor: Es el espesor de cada capa. Cuanto menor sea la capa, más suave será la impresión, pero más tiempo tardará en imprimirse.

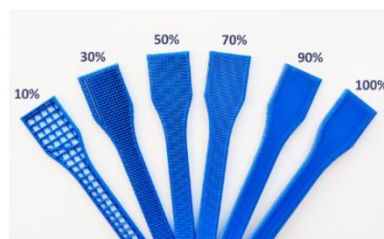


E1: Fino

E2: Estándar

E3: Grueso

3. Densidad: Cuando más porcentaje de relleno, la pieza será más sólida, aumentando su rigidez mecánica, pero esto no se comporta de forma lineal.



D1: 10%

D4: 70%

D2: 30%

D5: 90%

D3: 50%

D6: 100%

4. Forma: La forma de la probeta irá marcada según el ensayo a realizar.

- Ensayo de compresión: Generalmente son de forma cilíndrica.
- Ensayo de flexión: Sección transversal circular o rectangular.
- Ensayo a tracción: Sección transversal circular o rectangular.
- Ensayo de torsión: Generalmente son de forma cilíndrica.

F1: Rectangular

F2: Circular

5. Tamaño: El tamaño de la probeta lo limitará el volumen que pueda fabricar la impresora 3D.

T1: 100mm de largo

T2: 120mm de largo

T3: 150mm de largo

Posibles ensayos a realizar

- Ensayo a tracción
- Ensayo de compresión
- Ensayo de flexión
- Ensayo de torsión

Programa Slic3r

Es una herramienta que traduce los diseños 3D (archivos en formato **.STL**) en el lenguaje utilizado por las impresoras 3D.

Los apartados que utilizaremos dentro de este programa son los siguientes:

- Print Settings → Layers and perimeters →

-Layer height: Espesor de cada capa.

-Perimeters: Nº de paredes.

-Solid layers: Nº de capas arriba y debajo de la pieza.

- Print Settings → Infill →

-Fill density: Densidad de relleno.

-Fill pattern: Patrón de relleno.

-Top/bottom fill pattern: Patrón de relleno arriba y debajo de la pieza.

-Fill angle: Ángulo de relleno

Elección de la práctica:

Nombre y apellidos	
Curso	
Grupo	
Nº Práctica escogida	

Nº práctica	Variable a modificar							Ensayo	Nº probetas
1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Tracción	3
2	E1		E2		E3			Compresión	
3	D1	D2	D3	D4	D5	D6		Flexión	
4	F1			F2				Torsión	
5	T1		T2		T3				

- 1- Hacer el diseño de la pieza a imprimir y adjuntar los planos.
- 2- Material:
- 3- Impresora 3D:
- 4- Rellenar los siguientes recuadros en función de lo que pongáis en el programa Slic3r:

Layer height: mm

First layer height: mm or %

Perimeters: (minimum)

Solid layers: Top: Bottom:

Fill density: %

Fill pattern:

Top/bottom fill pattern:

Fill angle: °

- 5- Resultados obtenidos de la impresión y del ensayo.
- 6- Conclusiones y propuestas de mejora.

4- Diseño de la práctica

- Partiendo de la guía práctica:
 - El propio alumno hará una selección de variables, elegirá el ensayo a realizar y ejecutará y analizará la práctica. Posteriormente sacará las conclusiones de los resultados obtenidos y las propuestas de mejora que vea pertinentes.
 - El propio alumno partirá de una selección impuesta o al azar por el profesorado, de tal forma que el estudiante tendrá que ver como poder hacerla según las variables indicadas por el profesor. A continuación, ejecutará y analizará la práctica como en el caso anterior.

Con estos métodos, podremos realizar dos tipos de prácticas. Una impuesta por el alumno u otra impuesta por el profesorado.

5- Ejemplo de ejecución de una práctica de laboratorio (Prueba piloto)

Para la ejecución de la guía práctica, realizaremos un ejemplo de resolución de la misma. El ejemplo que utilizaremos será el estudio de la forma de la probeta por ensayo a tracción. Analizaremos de qué manera afecta la forma diseñando tres tipos de probeta. A continuación, analizaremos los ensayos y expondremos los resultados y las conclusiones.

Elección de la práctica:

Nombre y apellidos	Xavier Rodríguez Campillo
Curso	2017-2018, Q8
Grupo	-
Nº Práctica escogida	4

Nº práctica	Variable a modificar							Ensayo	Nº probetas
1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Tracción Compresión Flexión Torsión	3
2	E1		E2		E3				
3	D1	D2	D3	D4	D5	D6			
4	F1			F2					
5	T1		T2		T3				

- 1- Hacer el diseño de la pieza a imprimir y adjuntar los planos. [Apartado 5.1]
- 2- Material: **PLA**.
- 3- Impresora 3D: **Anet A8**.
- 4- Rellenar los siguientes recuadros en función de lo que pongáis en el programa Slic3r:
[Apartado 5.3]

Layer height: mm

First layer height: mm or %

Perimeters: (minimum)

Solid layers: Top: Bottom:

Fill density: %

Fill pattern:

Top/bottom fill pattern:

Fill angle: °

- 5- Resultados obtenidos de la impresión y del ensayo. [Apartado 5.4]
- 6- Conclusiones y propuestas de mejora. [Apartado 5.5]

5.1- Variable a estudiar

El diseño de las probetas no será normalizado. Se diseñarán con las variables P4 (patrón honeycomb, de panel de abeja), E2 (espesor estándar de 0.2mm), D3 (50% de densidad), F1 (forma de sección rectangular) y T3 (tamaño de probeta de 150mm de largo).

Diseñaremos los siguientes tres modelos de probetas con el programa de diseño SolidWorks.

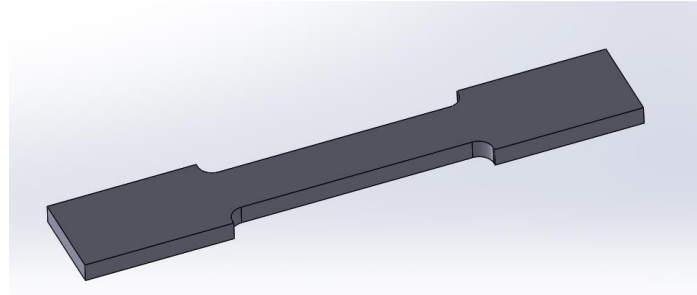


Figura 45. Imagen probeta modelo 1. Fuente: Autor.

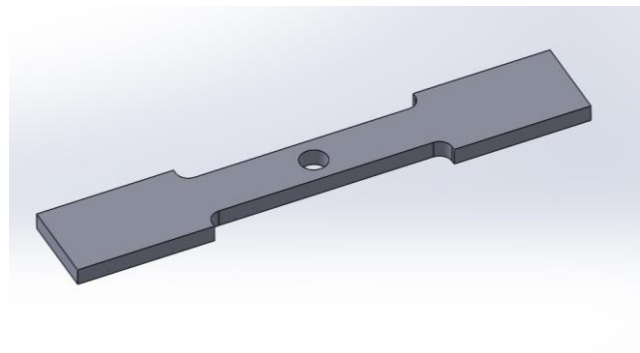


Figura 46. Imagen probeta modelo 2. Fuente: Autor.

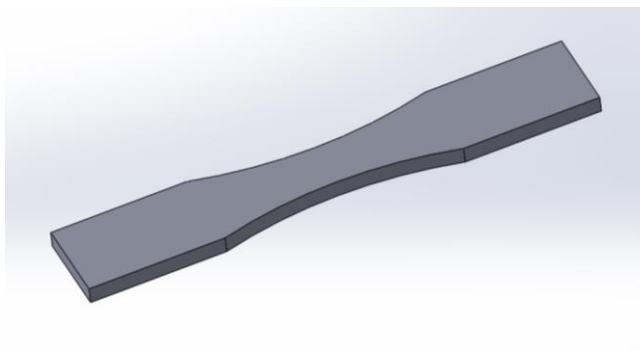


Figura 47. Imagen probeta modelo 3. Fuente: Autor.

Los planos con las medidas de cada probeta se podrán encontrar en los **anejos** del proyecto.

5.2- Ensayo a realizar

El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta, un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la misma. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente.

La máquina empleada para el ensayo de tracción es una máquina universal de ensayos que aplica un esfuerzo sobre la probeta para alargarla y mide el alargamiento producido y el esfuerzo aplicado. A partir de dichas medidas de fuerza y alargamiento y de las dimensiones de la probeta (sección y longitud inicial) se obtiene una gráfica durante el ensayo que representa la tensión σ (Fuerza aplicada / sección de la probeta) frente a la deformación longitudinal unitaria de la probeta ϵ (alargamiento / longitud inicial).

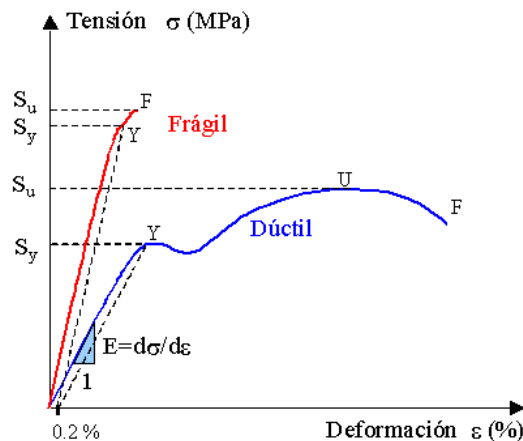


Figura 48. Diagrama de tracción. [21]

- Y: Límite de fluencia (punto que marca el fin de la zona de comportamiento elástico, en el que la deformación permanente alcanza el 0.2 %).
- U: Límite de resistencia última (máxima tensión que resiste el material antes de romper).
- F: Límite de rotura (punto en el que rompe el material).

Las tensiones correspondientes a los puntos de fluencia y rotura, respectivamente, se denominan límite de fluencia (S_y) y límite de rotura (S_u).

En los materiales frágiles los puntos U y F coinciden en la práctica en un mismo punto.

$$\text{Ley de Hooke: } \sigma_e = E \cdot e$$

σ_e = Tensión en la zona elástica.

E = Módulo de Young.

e = Alargamiento o deformación unitaria.

Módulo de Young (E): Relación entre la tensión y la deformación en la zona de comportamiento proporcional. Es un valor constante para cada material.

5.3- Impresión de las probetas

Los datos que introduciremos en el programa Slic3r para la impresión de las probetas son los de las figuras adjuntadas a continuación:

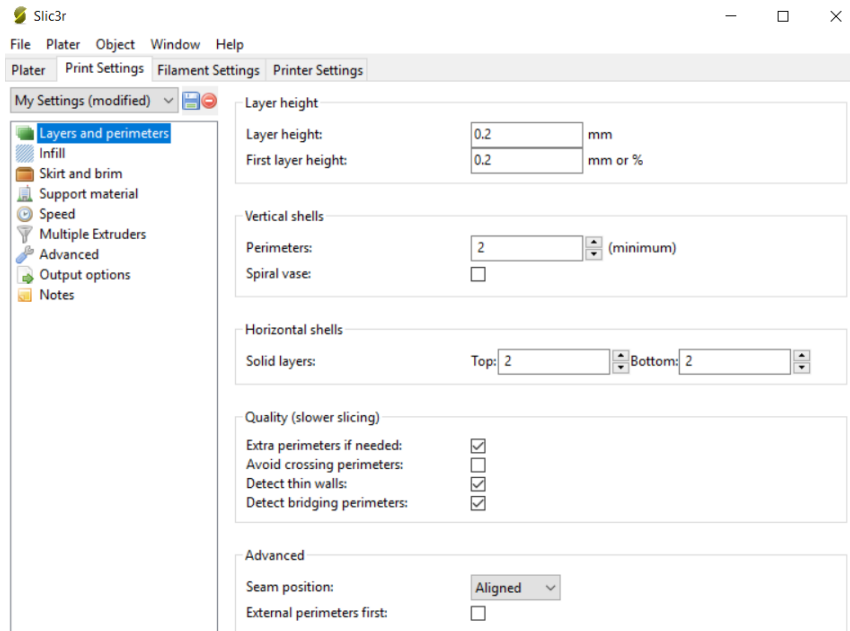


Figura 49. Configuración de capas y perímetros de la práctica. Fuente: Autor.

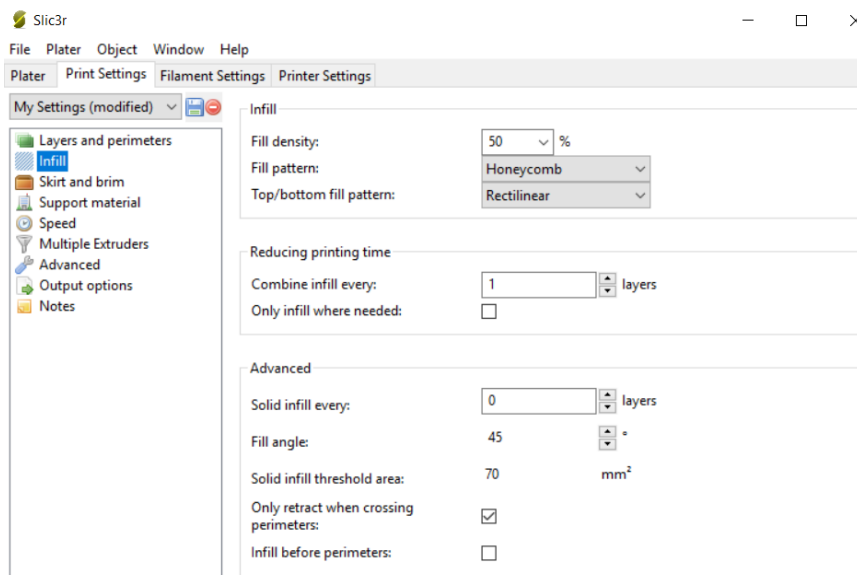


Figura 50. Configuración de relleno de la práctica. Fuente: Autor

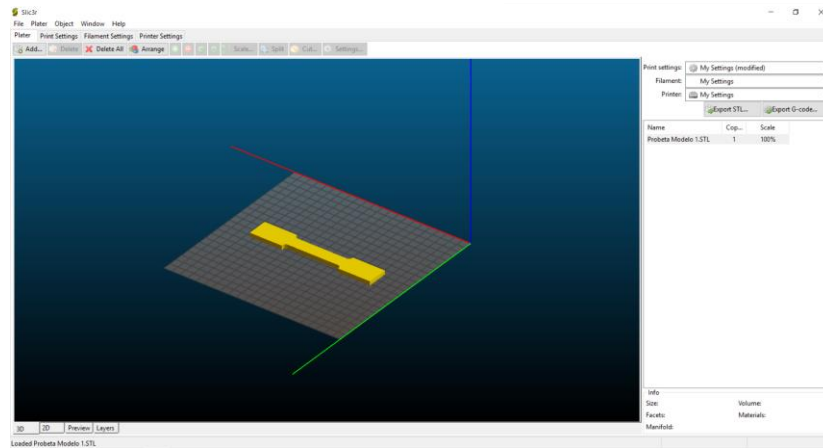


Figura 51. Modelo 1 de probeta en Slic3r. Fuente: Autor.

Duración impresión Modelo 1: 53min 55s.

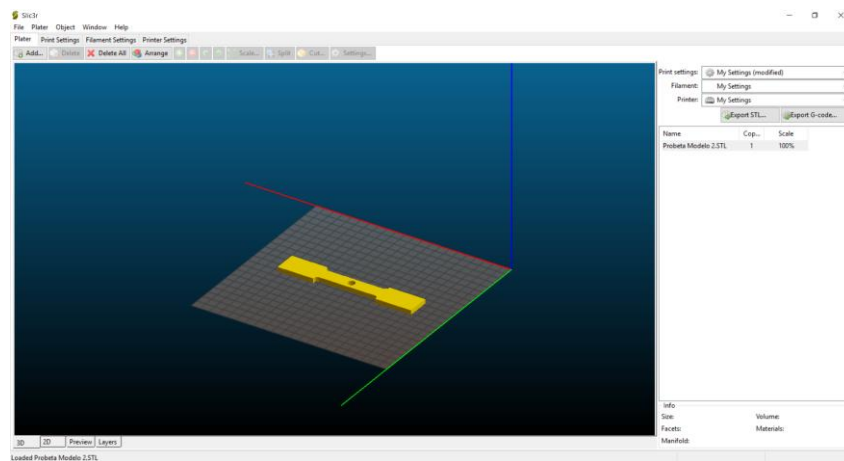


Figura 52. Modelo 2 de probeta en Slic3r. Fuente: Autor.

Duración impresión Modelo 2: 54min 15s.

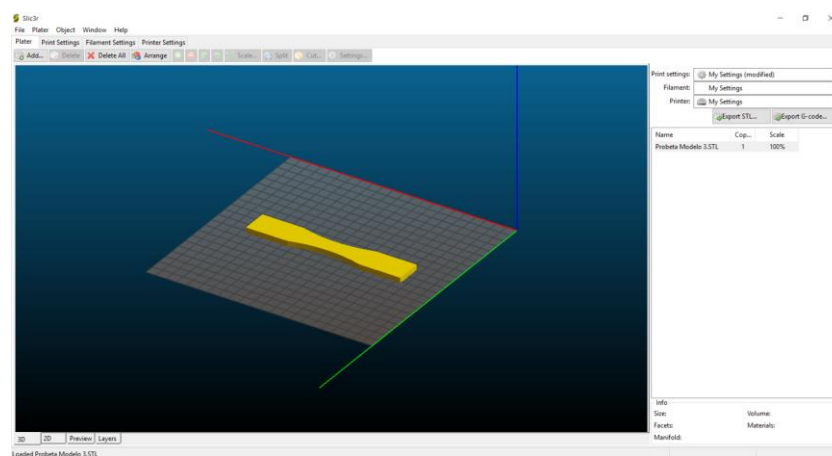


Figura 53. Modelo 3 de probeta en Slic3r. Fuente: Autor.

Duración impresión Modelo 3: 57min 23s.

- Imagen durante la impresión de la capa de cierre:

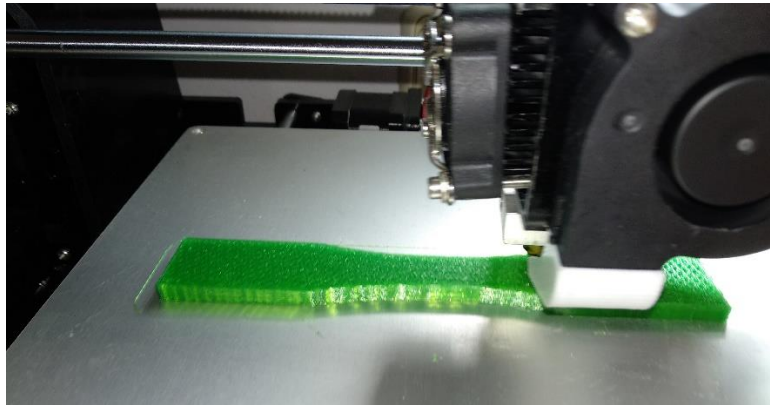


Figura 54. Probeta durante el proceso de impresión. Fuente: Autor.

- Imágenes de los detalles de las probetas:



Figura 56. Vista de patrón de relleno al 50%. Fuente: Autor.

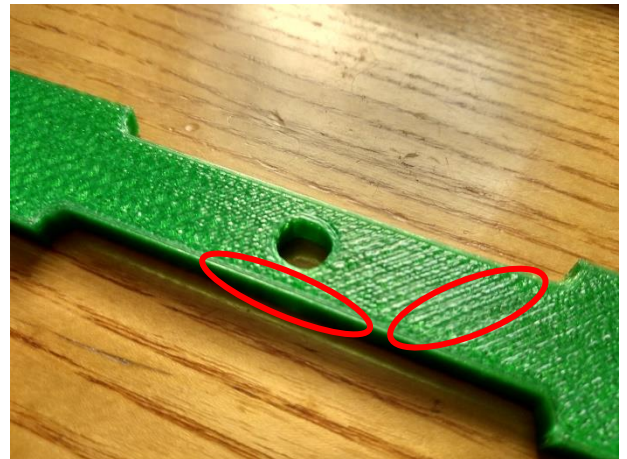


Figura 55. Vista del ángulo de relleno y de los perímetros. Fuente: Autor.

- Resultado final de las probetas impresas:

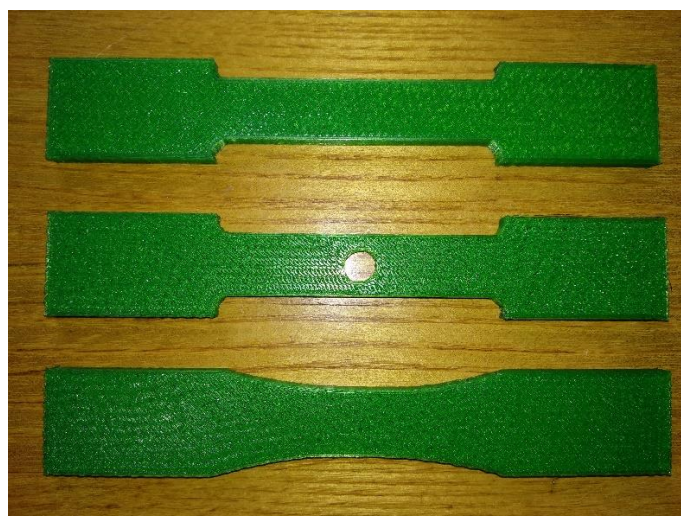


Figura 57. Resultado de las probetas impresas. Fuente: Autor.

5.4- Ejecución del ensayo

El ensayo se ha realizado en el laboratorio de la empresa *Bureau de Organización, Soldadura y Ensayos, S.L.*, (*B.O.S.E.*), con la colaboración de Iván García, Director de Calidad de dicha empresa y sus compañeros de laboratorio.

- Tipo de ensayo: A tracción.
- Material a ensayar: PLA.
- Número de probetas: 3.
- Temperatura de ensayo: Temperatura ambiente.
- Máquina ensayo: SUZPECAR Nº 2654.

El objetivo de la realización del ensayo será cuantificar los aspectos importantes de la resistencia y alargamiento del material según el diseño de la probeta.



Figura 58. Zona de la ejecución del ensayo a tracción. Fuente: Autor.

El software utilizado para el tratamiento de datos es el HoyWin, que nos permite obtener las lecturas de la fuerza máxima, resistencia, límite elástico y alargamiento entre otras.



Figura 59. Software HoyWin. Fuente: Autor

Para la preparación del ensayo, el operario de la empresa B.O.S.E., con un rotulador marca cada 5mm una línea en la longitud de la parte de sección estrecha de la probeta. Con esto, el objetivo es poder medir el alargamiento producido por el ensayo a tracción.

También marca con 1,2 y 3 los modelos de las probetas y rasga un poco la parte ancha de la probeta para que las mordazas tengan un buen agarre.



Figura 60. Probetas antes del ensayo. Fuente: Autor.

Las partes anchas de la probeta se fijan en las mordazas. En nuestro caso, la mordaza superior es fija mientras que la inferior es móvil y será la que aplique la carga en sentido descendente. Para el ensayo se fija una velocidad, que se mide en MPa/s, y será a la cual, la mordaza superior se desplazará.



Figura 61. Limpieza de mordazas anterior al ensayo. Fuente: Autor.

Antes de empezar con el ensayo, previamente se introducen los valores calibrados de espesor y anchura de las probetas dentro del programa de la máquina, por lo que esta dibujará una gráfica Tensión/Deformación como es propio en un ensayo a tracción.

Introducimos la velocidad a la que se ejecuta el ensayo (10 Mpa/s) y procedemos a la realización de este.



Figura 62. Realización del ensayo a tracción. Fuente: Autor.

Rotura de las probetas:

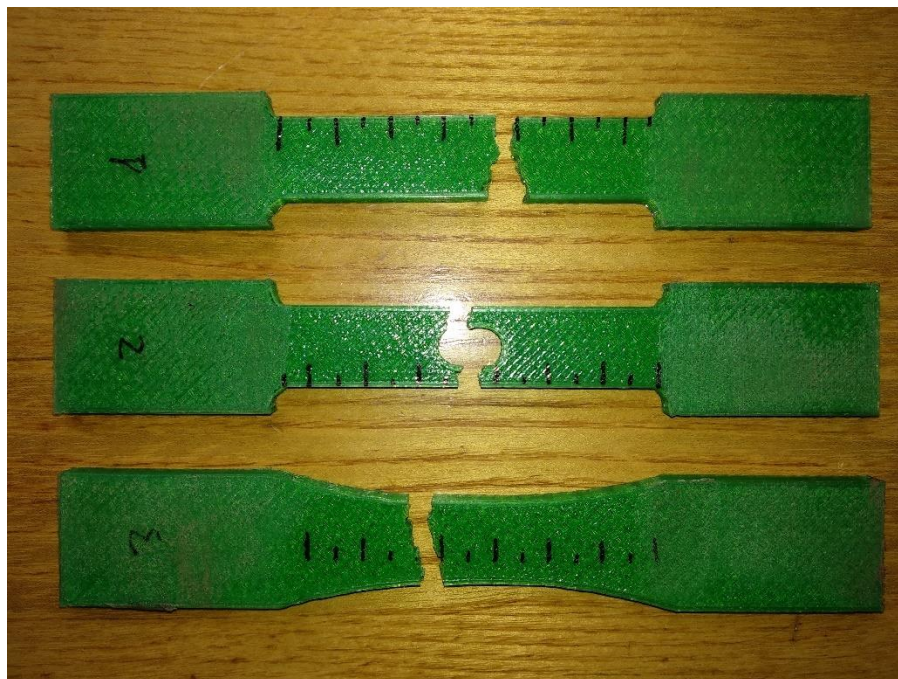


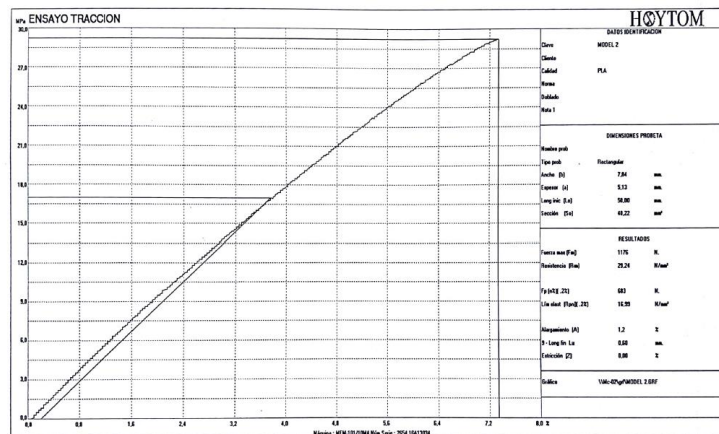
Figura 63. Rotura de las probetas. Fuente: Autor.

- Gráfica modelo 1:



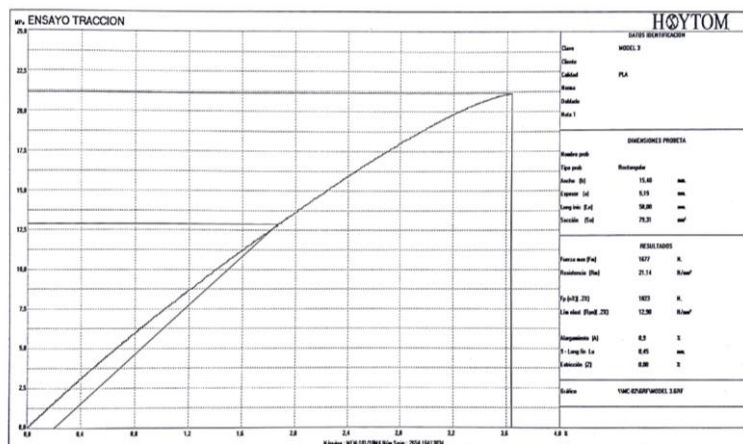
Gráfica 1. Modelo 1. Fuente: Autor.

- Gráfica modelo 2:



Gráfica 2. Modelo 2. Fuente: Autor.

- Gráfica modelo 3:



Gráfica 3. Modelo 3. Fuente: Autor.

*La marca con el círculo rojo en la gráfica del modelo 1 es debido al ajuste de las mordazas.

Las gráficas con los datos, el acta y el informe, estarán adjuntos en los **anejos** del proyecto.

A continuación, mostramos la comparación de datos de cada ensayo:

ENSAYO DE TRACCIÓN/TENSILE TEST					UNE-EN ISO 6892-1:2017 Método/Method B		
Ensayo Test Nº/No.	Probeta Specimen b·a Ø [mm]	Sección Section S ₀ [mm²]	Límite Elástico Yield Strength R _{eH} 0,2% [MPa]	Resistencia Rotura Tensile Strength R _m [MPa]	Alargamiento Elongation L ₀ A [mm] [%]		Estricción Necking Z [%]
1	15,10 x 5,10	77,01	--	24	50	0,6	--
2	7,84 x 5,13	40,22	--	29	50	1,2	--
3	15,4 x 5,15	79,31	--	21	50	0,9	--

Tabla 5. Comparación de modelos en el ensayo de tracción. Fuente: Autor.

5.5- Conclusiones de la pràctica

Una vez realizado el ensayo, observamos que los resultados son correctos ya que las probetas rompen por las zonas esperadas. La probeta en un ensayo de tracción, la sección en la parte central es más pequeña que en los extremos, y ésta es la que debe sobrepasar su límite elástico y posteriormente la zona plástica con el fin de romper.

Como podemos ver en la figura 63, las probetas ensayadas rompen en las zonas de menor sección.

El PLA como hemos dicho en apartados anteriores, es un material de poca resistencia mecánica, frágil y a la vez duro. Esta fragilidad se puede observar en las gráficas adjuntas en los anejos, donde se ve que el alargamiento es prácticamente nulo y no hay deformación ni zona elástica donde podamos ver una correlación lineal o casi lineal.



Figura 64. Visibilidad de las zonas de rotura de las probetas. Fuente: Autor.

En la figura 68, se pueden observar las zonas de rotura donde todas ellas son por los alojamientos del 50% de densidad de relleno de panel de abeja.

En el acta de los ensayos a tracción, contemplamos que el modelo 2 es el más resistente a rotura y el que más porcentaje de alargamiento tiene pese a tener un agujero en el centro. Suponemos que debe ser por la concentración de hilo PLA alrededor de dicho agujero más la suma de perímetros exteriores de la probeta e interior del agujero, haciendo así una mayor concentración de material. De todas formas, se deberían hacer más ensayos para poderlo verificar.

El que menos resistencia tiene es el modelo 3 curvado.

Como propuesta de mejora podríamos decir de disminuir el espesor y el ancho de la probeta con tal de disminuir el tiempo, ya que cada probeta tarda prácticamente 1 hora en imprimir.

Concluimos diciendo que, a partir de los 3 diseños de probetas, a menor sección en la parte central, nos ha dado un valor de resistencia de rotura mayor.

6- Conclusiones del proyecto

Este proyecto se ha basado en el diseño de una metodología para la realización de prácticas de laboratorio de una manera diferente a la estándar. Las diferencias entre este tipo de prácticas respecto a las demás, es que es una práctica donde el alumno tiene una gran capacidad de libertad en el diseño (en función de las variables a estudiar que imponga el mismo estudiante o el profesorado) y la aparición de la tecnología de impresión 3D.

La práctica se ha dividido en estos tres puntos: diseño, impresión y ensayo. Cada uno de ellos se divide en diferentes partes, con lo cual, tendremos una amplia gama de prácticas para que cada alumno pueda estudiar distintos factores.

Con esto, el objetivo es repercutir en la mejora del aprendizaje del alumno, ya que es una metodología a seguir por el mismo. Esta práctica también hará que el estudiante tenga la posibilidad de poder interactuar con diferentes programas y realizar un aprendizaje de software que anteriormente no conocía.

La gran ventaja es el hecho de poder diseñar los diferentes modelos de probeta, poderlos fabricar mediante la impresión 3D en un tiempo relativamente corto y posteriormente analizarlos dependiendo del ensayo a realizar.

La libertad del alumno con el diseño de las probetas, las tipologías de ensayo y la libre elección del software, generará constantes problemas al alumno que deberá ir resolviendo con la ayuda del profesor y las herramientas proporcionadas como por ejemplo la guía.

Por último, en la práctica que hemos realizado como ejemplo al diseño de metodología, se han realizado cada una de las etapas correctamente.

7- Líneas futuras

- Ampliar la guía práctica con la retroalimentación del alumno: En base a las prácticas que se realicen, posiblemente el estudiante encuentre diferentes problemas y soluciones a cambiar.
- Práctica presencial / No presencial: Añadir dentro de la práctica realizada otro tipo de práctica, la no presencial. Para poderla ejecutar deberá disponer de una impresora 3D o buscar algún lugar donde poder imprimir las probetas.
- Intentar disminuir tiempos de impresión imponiendo diferentes tipologías de diseño dentro de la misma práctica.
- Estudio de diferentes materiales.
- Proponer o implementar en la práctica, el estudio de imprimir en diferentes orientaciones, ya que esto hará que la probeta también tenga diferentes características mecánicas.
- Poner en práctica el estudio de otros distintos parámetros para la impresión 3D, como por ejemplo; la velocidad de impresión, el número de perímetros, etc.

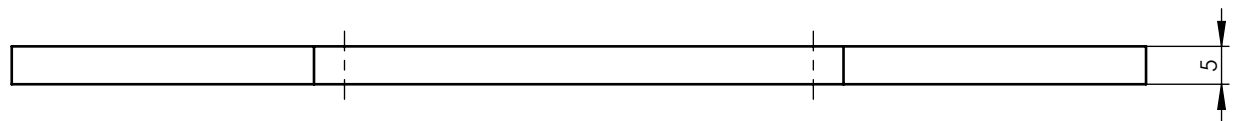
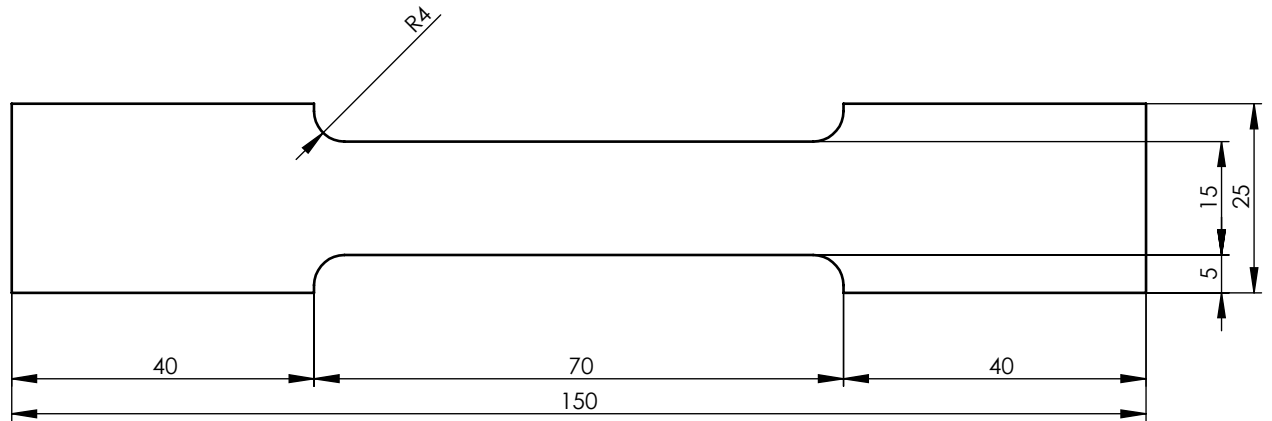
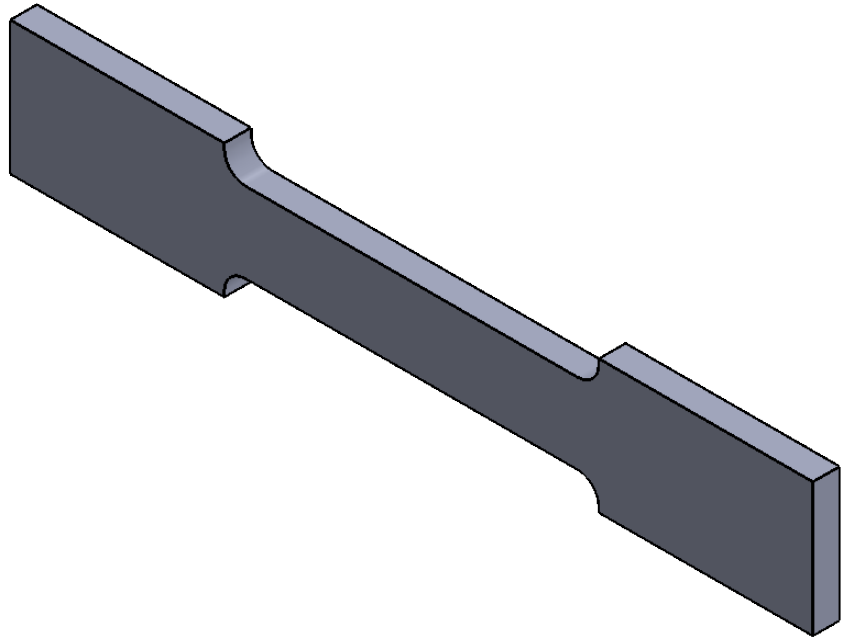
8- Bibliografia

- [1] *3D Systems*. Obtenido de <https://es.3dsystems.com/>
- [2] *3Design*. Obtenido de <https://3dinnovation.co.nz/hips-filament>
- [3] *Additive Manufacturing processes*. Obtenido de https://www.utwente.nl/ctw/opm/research/design_engineering/rm/Additive%20Manufac
- [4] *All 3DP*. (14 de Octubre de 2017). Obtenido de <https://all3dp.com/es/1/programas-software-impresora-3d-printer-software-3d-gratis/>
- [5] *Área tecnología*. Obtenido de <http://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>
- [6] *Craft Unique*. Obtenido de <https://craftunique.com/craftware/>
- [7] *Crea tu 3D*. Obtenido de http://www.creatu3d.com/p/que-eligir-abs-o-pla_69.html
- [8] *Createc 3D*. Obtenido de <https://createc3d.com/abs-vs-pla-que-material-utilizamos/>
- [9] DrLex. (5 de Junio de 2017). *Thingiverse*. Obtenido de <https://www.thingiverse.com/thing:2367215>
- [10] *DYOR: Do Your Own Robot*. Obtenido de <http://dyor.roboticafacil.es/criterios-de-diseno-y-fabricacion-mediante-impresion-3d/>
- [11] *Elementos amovibles y fijos*. Obtenido de <http://gomez-adrianamov2016.blogspot.com.es/2016/10/>
- [12] *Filament 2 Print*. Obtenido de <https://filament2print.com/es/nylons/641-nylon-taulman-230.html>
- [13] Fram-Schwartz, N. (2 de Noviembre de 2015). *Different Types of Additive Manufacturing*. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/different-types-additive-manufacturing-noah-fram-schwartz>
- [14] *Imprimalia 3D*. Obtenido de <http://imprimalia3d.com/>
- [15] *Imprimalia 3D*. Obtenido de <http://imprimalia3d.com/noticias/2015/12/04/005531/sevillana-unyq-lanza-nueva-l-ne-a-cubiertas-est-ticas-pr-tesis-impresi-n>
- [16] *Indiamart*. Obtenido de <https://www.indiamart.com/parasnathtraders/hdpe-raw-material.html>
- [17] *Indus 3D*. Obtenido de <http://indus3d.com.mx/materiales/>
- [18] *Instron*. Obtenido de <http://www.instron.com.ar/es-ar/testing-solutions/by-material/concrete/compression/concrete-cylinders>
- [19] *Interempresas. Metalmecánica*. Obtenido de <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/116342-La-fabricacion-aditiva-La-evidencia-de-una-necesidad.html>

- [20] Manufacturing, C. A. *Estereolitografia (SLA)*. Obtenido de <http://www.ctadvancedmanufacturing.com/impresoras-3d/elija-por-tecnologia/estereolitografia/>
- [21] *Mecapedia*. (24 de 06 de 2014). Obtenido de http://www.mecapedia.uji.es/ensayo_de_traccion.htm
- [22] *MotorPoint*. (7 de Octubre de 2014). Obtenido de <https://www.motorpoint.com/noticia/3180/actualidad/primer-vehiculo-fabricado-con-una-impresora-3d.html>
- [23] Schematic, F. 3. Obtenido de <http://www.3dparts.co.uk/how-it-works/>
- [24] *Suministros industriales, ferreteria y bricolaje*. Obtenido de <https://suministrosherco.com/blog/impresion-3d-la-industria/>
- [25] Systems, 3. *3D Systems. Nuestra historia*. Obtenido de <https://es.3dsystems.com/our-story>
- [26] *Tecnología del plástico*. Obtenido de <http://www.plastico.com/temas/Demandan-mas-PET-reciclado-para-la-fabricacion-de-botellas+104078>
- [27] *Turbocam international*. Obtenido de <http://www.turbocam.com/direct-metal-laser-sintering-dmls>
- [28] *Ultimaker*. Obtenido de <https://ultimaker.com/en/products/materials/pva>
- [29] *Univerdad politécnica de Valencia*. Obtenido de https://www.google.es/search?q=ensayo+de+flexion&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjFIb39azaAhVFjCwKHe9BCs0Q_AUICigB&biw=1536&bih=734#imgrc=3QlAP07SYDhZM:
- [30] Vazhnov, A. (2013). *Impresión 3D. Cómo cambiar el mundo*. Obtenido de <http://institutobaikal.com/libros/impresion-3d/de-la-edad-de-piedra-a-la-edad-de-la-adicion/>
- [31] *Zona Maker*. Obtenido de <https://www.zonamaker.com/impresion-3d/software-imp3d/manual-de-cura>
- [32] *Suministros Herco*. Obtenido de <https://suministrosherco.com/blog/impresion-3d-la-industria/>

9- Anejos

A continuació, adjuntamos los planos de las probetas impresas en 3D y los informes de los ensayos a tracción junto con las gráficas.



Escola superior d'Enginyeries Industrial
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Denominación proyecto:

Piezas en impresora 3D

A4

Apellidos y nombre:

Rodríguez Campillo, Xavier

Laboratorio de
SOLIDWORKS Student Edition
resistencia de materiales
Solo para uso académico.
y teoría de estructuras

Denominación plano:

Probeta modelo 1

Escala:

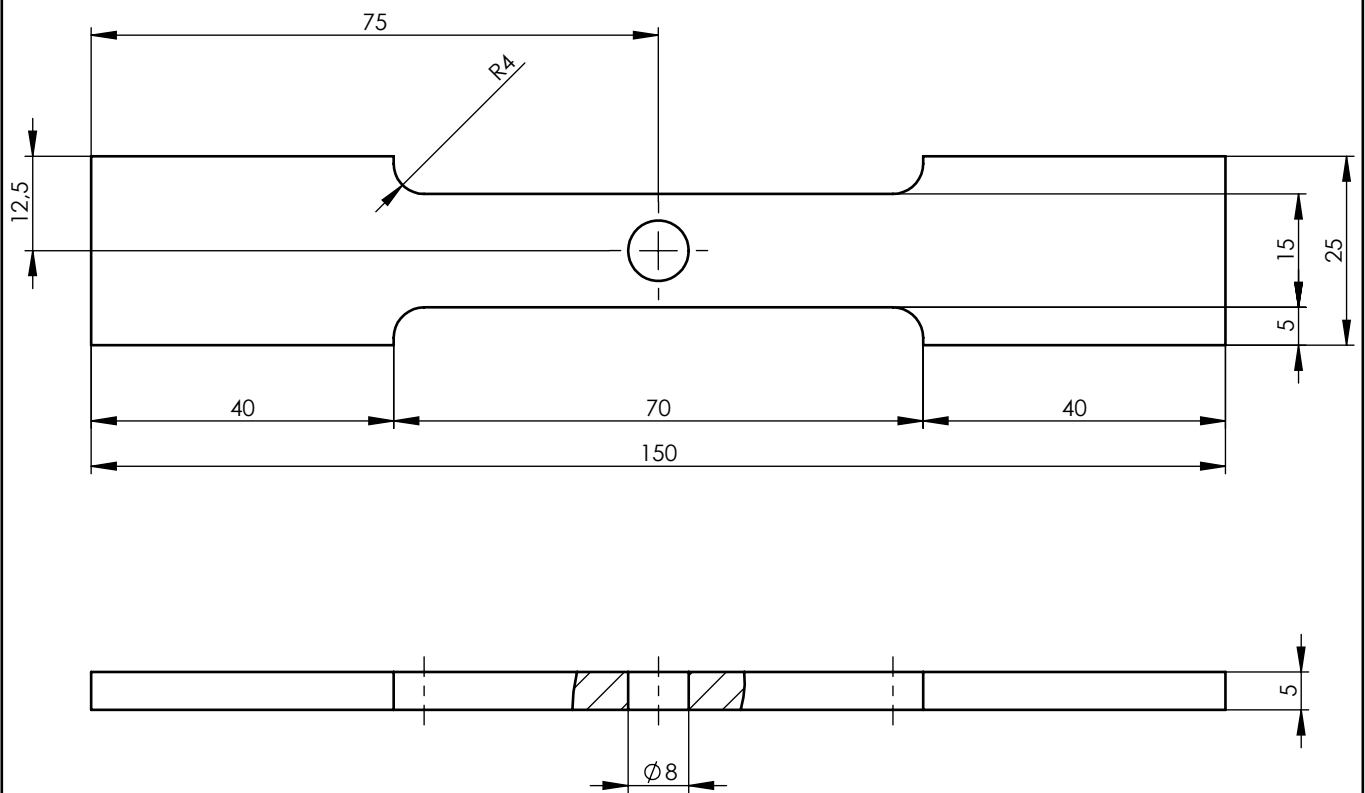
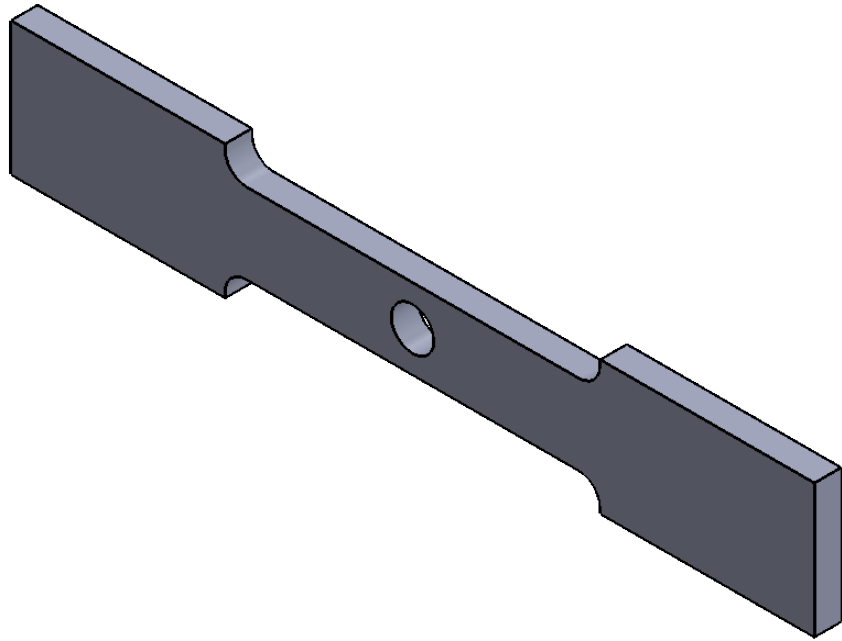
1 : 1

Fecha:

20/04/18

Modelo

1



Escola superior d'Enginyeries Industrial
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Denominación proyecto:

Piezas en impresora 3D

A4

Apellidos y nombre:

Rodríguez Campillo, Xavier

Laboratorio de
SOLIDWORKS Student Edition
resistencia de materiales y teoría de estructuras
Solo para uso académico.

Denominación plano:

Probeta modelo 2

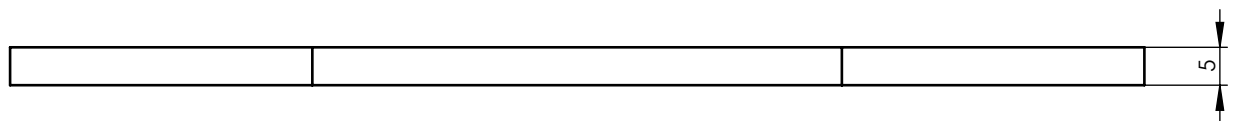
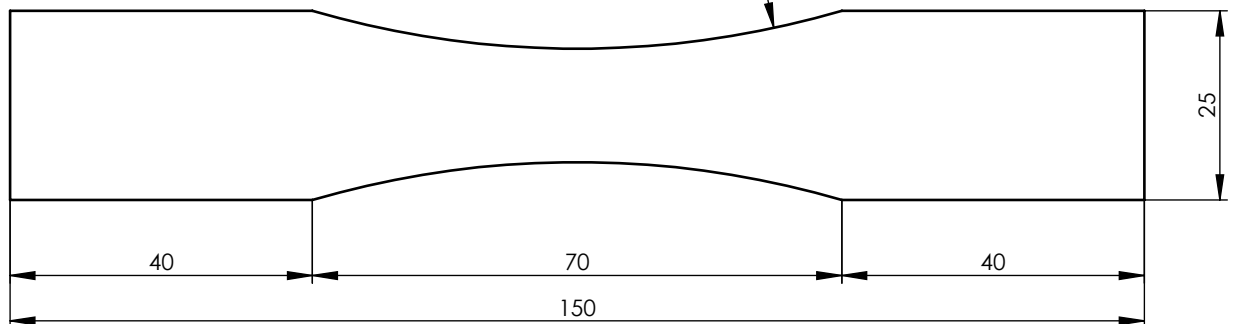
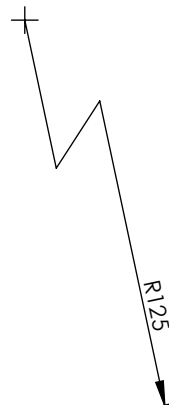
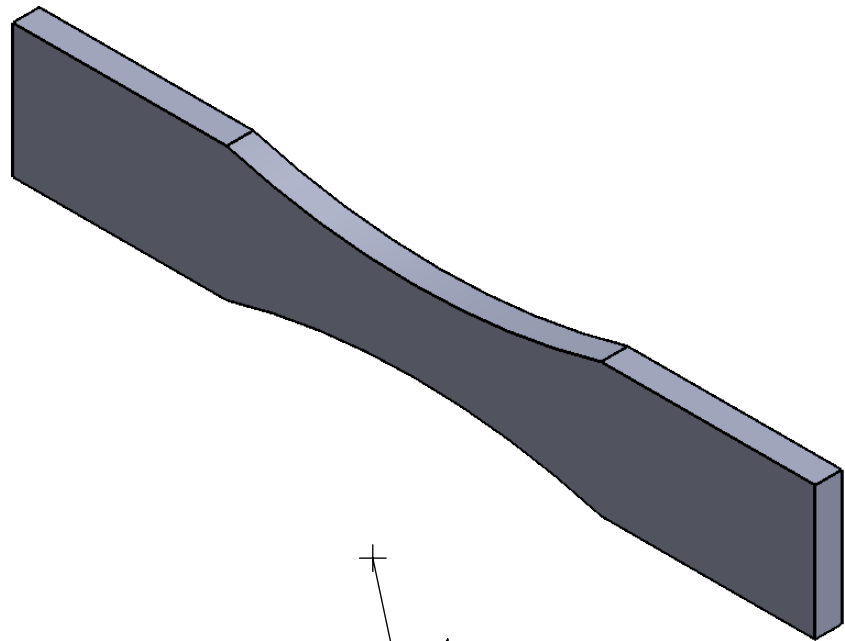
Escala:

1 : 1

Fecha:

20/04/18

Modelo
2



Escola superior d'Enginyeries Industrial
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Denominación proyecto:

Piezas en impresora 3D

A4

Apellidos y nombre:

Rodríguez Campillo, Xavier

Laboratorio de
SOLIDWORKS Student Edition
resistencia de materiales y teoría de estructuras
Solo para uso académico.

Denominación plano:

Probeta modelo 3

Escala:

1 : 1

Fecha:

20/04/18

Modelo
3

MPa ENSAYO TRACCION

HOYTOM

DATOS IDENTIFICACION

Clave MODEL 1
Cliente
Calle PLU
Materia
Dibujado
Mida 1

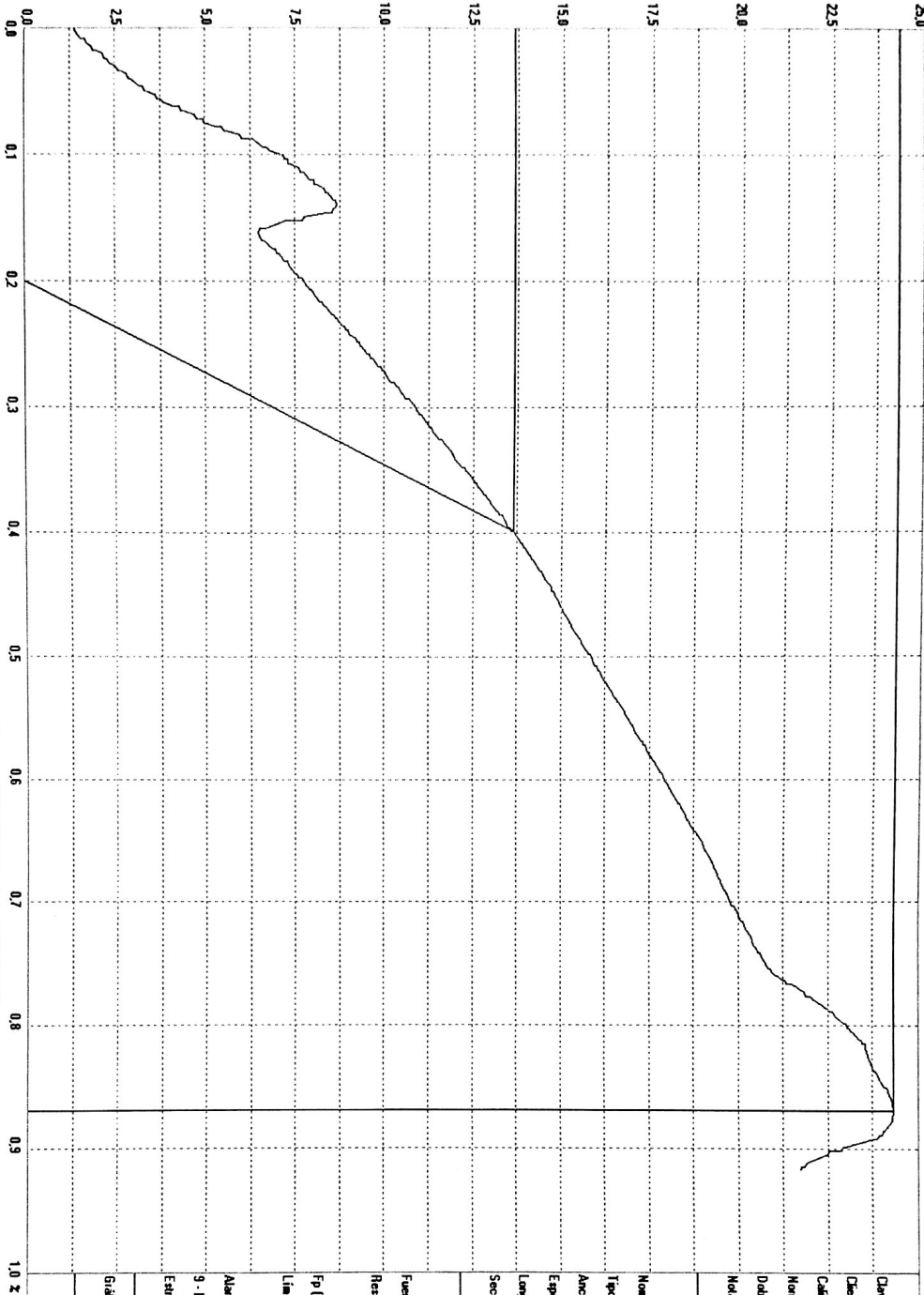
DIMENSIONES PROBETA

Nombre proba Rectangular
Tipo proba
Ancho (b) 15.10 mm
Espesor (e) 5.10 mm
Long. inic. (L₀) 50.00 mm
Sección (S₀) 77.01 mm²

RESULTADOS

Fuerza max (F_m) 1874 N.
Resistencia (R_m) 24.33 N/mm²
Fp (R_eL, 2%) 1052 N.
Lim elást (R_pL, 2%) 13.65 N/mm²
Alargamiento (A) 0.5 %
9 - Long fin Lu 0.30 mm
Estiración (Z) 0.00 %

Gráfico VM-0299MODEL1.SRF



Máquina : MEM-10T/10M4 Num Serie : 2654 16A13034

HYTOM

DATOS IDENTIFICACION

PLA

Norms

Datado

Nombre prob

Rectangulus

72

5.13

50.1

Fuerza max (F_m)

Resistencia (R)

Fp [nZ] . Z]

Lincoln Park

Alargamiento (A)

9-1000 fm 1 m

Estimación ☒

C. 550

1

--	--

4. 0.0

MP ENSAYO TRACCION

HOYTOM

DATOS IDENTIFICACION

Clave
Modelo
Cliente
Cantidad
Norma
Módulo
Nota 1

MODEL 3
PLA

DIMENSIONES PROBETA

Nombre proba
Tipo proba
Ancho (b)
Espesor (a)
Longitud (Lo)
Sección (So)

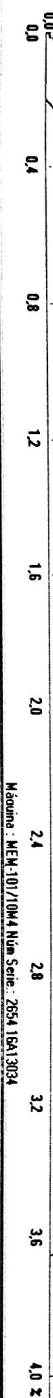
Rectangular
15.40 mm
5.15 mm
50.00 mm
79.31 mm²

RESULTADOS

Fuerza max (Fm)
Resistencia (Rm)
Fp (F_{0.2%})
Lim elast (R_{pl0.2%})
Alargamiento (A)
3 - Long fin Lu
Estiración (Z)

1677 N.
21.14 N/mm²
1023 N.
12.90 N/mm²
0.9 %
0.45 mm
0.00 %

Gráfico VMC-0256RF-MODEL 3.6RF



**Bureau de Organización Soldadura y Ensayos, S.L.**

Zona Ind. "Les Pedreres" - C/ Vial Les Pedreres, Nave C-1 - 08390 MONTGAT (Barcelona)

Tfn. 93.395.18.98 - Fax 93.395.03.55 - email: boresl@boresl.comwww.boresl.es**1-3****ACTA DE ENSAYO****Ensayo de Materiales s/ Normativa EN**

CLIENTE	REF.CLIENTE	FECHA RECEPCIÓN	INFORME N°	CLAVE IDENTIFIC.
XAVIER RODRIGUEZ	PFC	25/04/2018	_____.18	1-2

MUESTRAS RECEPCIONADAS:

Material: Plástico PLA / Material: Plastic PLA. // Calidad / Class: -

Ref. Probeta / Sample Ref: Modelo-1

1

Ref. Probeta / Sample Ref: Modelo-2

2

Ref. Probeta / Sample Ref: Modelo-3

3**ENSAYO TRACCIÓN UNE-EN ISO 6892-1:2017 Mét.B**

Probeta: Cil. (Pris.) - Long./Trans. Tº. Ensayo: Ambiente °C

Ensayo o Nº	Probeta b ₀ x a ₀ Ø [mm]	Sección S ₀ [mm ²]	L.Elástico			Resistencia			Alargamiento			Estricción	
			R _p Total N	0,2% incert	0,5% 1% MPa	R _m Total N	incert	MPa	L ₀ (4d-5d) [mm]	L _F [mm]	A% ±incert.	Ø _F [mm ²]	Z % ±incert.
1	15.10x5.10	77.01				1870		24	50	50.30	0,6		
2	7.84x5.13	40.22				1180		29	50	50.60	1.2		
3	15.4x5.15	79.31				1168		21	50	50.45	0,9		
Equipos:													
Máquina de Ensayo:			Calibres:						Extensómetro:		Velo.	[N/s]	Operario
MC-01 MC-02 MC-39			MC-06 MC-10 MC-28 MC-29 MC-33 MC-37						MC-34 MC-40		10	[MPa/s]	JLR

FECHA:
ENTIDAD INSPECCIÓNFECHA: 25-04-2018
BOSE:**BOSE**



Bureau de Organización, Soldadura y Ensayos, S. L.

Vial Les Pedreres, Bloque 5, Nave C-1, Polígono Industrial LES PEDRERES - 08390 MONTGAT

☎ 933 951 898 Fax 933 950 355 e-mail: boresl@boresl.com www.boresl.es

INFORME DE ENSAYO

Informe N° / Report N°:

Página/Sheet 1 de/of 1

Peticionario: / Customer:

XAVIER RODRIGUEZ
UPC Terrassa - Barcelona

Objeto Ensayo: / Test Subject:

Ensayo de Materiales s/ Normativa EN
Testing of Materials according to EN standard

Referencia: / Reference:

PFC

Muestras ensayadas: / Samples Tested:

Probeta 5 mm / PLATE 5 mm

Material: Plastico PLA / Material: Plastic PLA

Ref. Probeta / Sample Ref.: Modelo-1

Ref. Probeta / Sample Ref.: Modelo-2

Ref. Probeta / Sample Ref.: Modelo-3

Fecha Recepción de muestras:

25/04/2018

Fecha Realización Ensayos:

Testing Date:

25/04/2018

Ensayos efectuados: / Tests performed:

ENSAYO DE TRACCIÓN/TENSILE TEST

UNE-EN ISO 6892-1:2017
Método/Method B

Ensayo Test N°/No.	Probeta Specimen b-a Ø [mm]	Sección Section S ₀ [mm ²]	Límite Elástico Yield Strength R _{eH} 0,2% [MPa]	Resistencia Rotura Tensile Strength R _m [MPa]	Alargamiento Elongation L ₀ A [mm] [%]	Estricción Necking Z [%]
1	15,10 x 5,10	77,01	--	24	50 0,6	--
2	7,84 x 5,13	40,22	--	29	50 1,2	--
3	15,4 x 5,15	79,31	--	21	50 0,9	--

Temperatura de Ensayo/Test Temperature = RT (RT = Temperatura Ambiente / Room Temperature)

Datos Probeta: / Specimen Data:

N°/No.: 1, 2, 3
Tipo probeta: / Type Specimen: Prismática/Prismatic

Orientación: / Orientation: Longitudinal/Longitudinal

Localización: / Sample Location: Espesor Entero/Full Thickness

Equipos Utilizados: / Used Equipment:

Máq. Ensayo/Test Machine: MC-02; 10 Tn. SUZPECAR N° 2654

Extensómetro/Extensometer: No Aplica / Not apply

Calibre:/Calliper: MC-28; TESA-00530090-2M474206

Técnico Analista / Technical Analyst: Carlos Sánchez

Signatario/s Autorizado/s
Authorized signatory/ies

Fecha emisión/Issue date: 25/04/2018

IVÁN GARCÍA ESPÍN

Director Calidad/ Quality Manager

- SE TIENE A DISPOSICIÓN DEL CLIENTE LOS VALORES DE INCERTIDUMBRE ASOCIADOS A LOS RESULTADOS OBTENIDOS. / The uncertainty measures associated are available.
- LOS DATOS INDICADOS REFERENTES A LA CLASE DE MATERIAL, COLADA E IDENTIFICACIÓN, SE CORRESPONDEN CON LA INFORMACIÓN FACILITADA POR EL PETICIONARIO.
This facts have been expedited by the petitioner.
- LOS RESULTADOS CONTENIDOS EN EL PRESENTE CERTIFICADO SOLO AFECTAN A LAS MUESTRAS ENSAYADAS. / This results are only available for the tested samples.
- ESTE CERTIFICADO NO PODRÁ SER REPRODUCIDO PARCIALMENTE SIN APROBACIÓN POR ESCRITO DEL LABORATORIO DE ENSAYOS QUE LO EMITE.
This certificat can't be duplicated without the consent of B.O.S.E. S.L.